

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño de una línea de producción
de vinagres balsámicos de Pedro Ximénez
y derivados

Autora: Jenifer TIRVE VALENCIA

Fecha: Marzo 2015





DOCUMENTO N° 1:

MEMORIAS

DOCUMENTO N° 1.A: MEMORIA DESCRIPTIVA

DOCUMENTO NÚMERO 1.A: MEMORIA DESCRIPTIVA

CAPÍTULO 1. OBJETO DEL PROYECTO	1
CAPÍTULO 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
CAPÍTULO 3. ALCANCE Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	4
CAPÍTULO 4. ANTECEDENTES	5
1. El vinagre balsámico	5
1.1. El vinagre balsámico de Módena	6
1.2. Vinagres balsámicos industriales y cremas balsámicas	6
1.3. Producción y mercado	7
2. La Fermentación acética	10
2.1. Descripción y variables influyentes	10
2.2. Sistemas de fermentación: el cultivo sumergido	12
CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	14
CAPÍTULO 6. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE EQUIPOS Y CONDUCCIONES	17
1. Selección de materiales	17
2. Depósito de almacenamiento de mosto	18
3. Evaporador	19
4. Depósito de almacenamiento de mosto concentrado	21
5. Depósito de almacenamiento de vino	21
6. Fermentador	22
7. Antiespumante	24
8. Sistema de refrigeración del fermentador	25
9. Sistema de aireación y aporte de O ₂ al fermentador	27
10. Sistema de filtración	28
11. Mezclador 1	30
12. Depósito de vinagre balsámico	32
13. Mezclador 2	33
14. Depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico	34

15.	Impulsión de fluidos y control de flujo	35
15.1.	Conducciones	35
15.2.	Bombas	36
15.3.	Válvulas	37
CAPÍTULO 7. MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS		41
1.	Mosto de uva Pedro Ximénez	41
2.	Vino joven ecológico de Pedro Ximénez	42
3.	Caramalo E150d	43
4.	Vinagre balsámico de Pedro Ximénez	44
5.	Crema de vinagre balsámico de Pedro Ximénez	45
CAPÍTULO 8. SISTEMAS DE CONTROL		46
1.	Control de la temperatura en el fermentador	47
2.	Control del nivel en el fermentador	50
3.	Control del nivel en el mezclador 1	52
CAPÍTULO 9. PROTOCOLO DE LLENADO DEL FERMENTADOR		54
1.	Primera etapa: Primer ciclo fermentativo	54
2.	Segunda etapa: Ciclos fermentativos restantes	58
CAPÍTULO 10. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA		59
1.	Mantenimiento en parada y automantenimiento	59
2.	Régimen laboral	61
CAPÍTULO 11. ANÁLISIS DE PELIGROS Y PUNTOS DE CONTROL CRITICOS (APPCC)		64
1.	Introducción	64
2.	El plan APPCC	66
2.1.	Diagrama de flujo del proceso	66
2.2.	Análisis de peligros y medidas preventivas	68
2.3.	Determinación de los puntos de control críticos específicos	69
2.4.	Resultados de la determinación de los PCCe	73
CAPÍTULO 12. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE		74

DISEÑO DE UNA LINEA DE PRODUCCIÓN DE VINAGRES BALSÁMICOS
DE PEDRO XIMÉNEZ Y DERIVADOS

Jenifer Tirve Valencia

1. Prevención de riesgos laborales	74
1.1. Seguridad e higiene laboral	74
2. Higiene de la planta	77
3. Eliminación de residuos	77
CAPÍTULO 13. LEGISLACIÓN	79
CAPÍTULO 14. BIBLIOGRAFIA	80

CAPÍTULO 1. OBJETO DEL PROYECTO

El presente Proyecto tiene como finalidad la obtención del Título de Ingeniero Químico de la alumna Jenifer Tirve Valencia. Ha sido tutorizado por el profesor Dr. D. Ignacio de Ory Arriaga, del Departamento de Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Cádiz.

CAPÍTULO 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En el presente Proyecto Fin de Carrera se diseñará una línea de producción de Vinagre Balsámico de Pedro Ximénez ecológico y derivados, como la crema balsámica. La creciente demanda local y mundial de este tipo de productos de alto valor añadido, unido a los excedentes de producción de vinos que se está dando en los últimos años en la comarca del Jerez, hacen que la diversificación hacia este tipo de productos sea una alternativa a tener en cuenta.

La elaboración del vinagre balsámico del presente proyecto se va a llevar a cabo usando la tecnología de la fermentación en cultivo sumergido trabajando en discontinuo. Es cierto que la operación en continuo es, en general, más productiva en la industria, pero en el caso de las fermentaciones alimentarias este modo de producción conlleva una serie de importantes inconvenientes que desaconsejan su uso; habría que solucionar el problema de la pérdida de biomasa por "lavado de la población" así como evitar los problemas derivados de los efectos tóxicos de altas concentraciones que sustrato y producto tienen en la viabilidad de los microorganismos. La industria del sector vinagrero usa mayoritariamente el modo discontinuo.

El sustrato alcohólico elegido es el vino ecológico producido a partir de la variedad autóctona Pedro Ximénez. Asimismo, el concentrado usado para mezclar con los vinagres provendrá de este mismo sustrato.

España proyecta 1,2 millones de hectáreas destinadas al cultivo de la uva. De este cultivo, el 97% se destina a la producción de vino. La vid ocupa el tercer lugar en extensión de los cultivos españoles, siguiendo a los cereales y al olivar.

En Andalucía, la provincia de Cádiz es una de las principales productoras de vino a nivel nacional. Sin embargo, el descenso de ventas en vinos con D.O. Jerez que se lleva produciendo en los últimos años aconseja idear estrategias para la diversificación de productos, sin perder las señas de identidad de la zona vitivinícola.

Esta línea de producción será instalada, pues, anexa a una bodega de Jerez donde se produce vino ecológico de la variedad Pedro Ximénez.

Este vino será la materia prima para la elaboración del vinagre balsámico y de la crema de vinagre balsámico objetos de este proyecto. El enorme auge en el consumo de productos ecológicos, cultivos basados en la utilización óptima de los recursos naturales, sin emplear productos químicos de síntesis, u organismos genéticamente modificados (OGMs) -ni para abono ni para combatir las plagas-, supondrá un valor añadido que justifique la adquisición de este producto de consumo.

CAPÍTULO 3. ALCANCE Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

En el presente proyecto se van a diseñar los equipos fundamentales para la producción a escala industrial de vinagre balsámico y crema de vinagre balsámico partiendo de mosto y de vino joven de la variedad de Pedro Ximénez como materias primas.

Para ello será necesario un evaporador para concentrar el mosto, un fermentador acético de cultivo sumergido que trabajará en régimen discontinuo para obtener vinagre de vino y equipos homogeneizadores para obtener los productos finales. Se incluirá el diseño de los depósitos de almacenamiento tanto para las materias primas como para los productos de la planta. Además también se diseñará sistemas de aireación, termostatización y controladores para garantizar que la producción se lleva a cabo de forma correcta y segura.

En este proyecto no se incluyen las obras civiles necesarias para albergar las instalaciones proyectadas. A su vez, tampoco se incluirán las operaciones de envasado ni etiquetado.

La planta diseñada en este proyecto se situará junto a una bodega, que quiere diversificar su rango de productos. Así, se tomaría el vino joven Pedro Ximénez obtenido en dicha bodega como materia prima para la elaboración del vinagre balsámico y de la crema de vinagre balsámico.

En todo momento se ha considerado que se dispone de un área sin desniveles apreciables y sin limitaciones excesivas de espacio. La instalación requerirá una superficie de 80 m², distribuidos conforme a lo dispuesto en el plano nº1.

En cuanto a la localización geográfica, la planta se ubica en la zona de producción de los vinagres amparados bajo la Denominación de Origen 'Vinagre de Jerez', concretamente en Jerez de la Frontera (Cádiz).

CAPÍTULO 4. ANTECEDENTES

Se denomina vinagre al producto resultante de la fermentación acética de un sustrato alcohólico, pudiendo ser este sustrato vino, sidra, malta, etc, añadiendo para su comercialización al nombre de vinagre el del sustrato correspondiente: vinagre de vino, vinagre de sidra, vinagre de malta, etc.

El vinagre se usa desde la antigüedad como conservante natural, aunque en la actualidad su uso más habitual es como condimento ya que aporta aroma y sabor a los alimentos.

Según la Reglamentación técnico-sanitaria vigente (Real Decreto 661/2012), el vinagre queda definido como 'líquido apto para el consumo humano resultante de la doble fermentación alcohólica y acética de productos de origen agrario que contengan azúcares o sustancias amiláceas'.

1. El vinagre balsámico

En los últimos años, se ha producido un aumento significativo en el consumo del llamado vinagre balsámico, como consecuencia del aumento en el nivel de vida y la aparición de nuevos hábitos de consumo en los países occidentales. Según la Reglamentación técnico-sanitaria, el vinagre balsámico queda definido como: "El producto obtenido por adición de mosto de uva, mosto de uva concentrado o mosto de uva concentrado rectificado al vinagre de vino, dando lugar a un vinagre dulce, con un contenido mínimo de azúcar total de 150 g/l, procedente exclusivamente de los mostos indicados". El consumidor percibe el vinagre balsámico como un condimento menos ácido que el vinagre puro, con más cuerpo y con un carácter más dulce y aromático, lo que supone un aderezo ideal para recetas de la dieta mediterránea.

Su origen histórico está en el denominado Vinagre Balsámico de Módena.

1.1. Vinagre balsámico de Módena

Este vinagre balsámico tiene su origen en la comarca italiana de la Emilia Romagna, más concretamente en la ciudad de Módena.

La materia prima de esta variedad de vinagre es el mosto de uva blanda *Trebbiano*, en óptimo grado de madurez. Este mosto se concentra mediante ebullición suave, con lo que se consiguen varios objetivos: aumentar la concentración de azúcares, oscurecer el producto, aportar aromas y esterilizar el mosto.

El proceso de oxidación, a diferencia de los demás vinagres, consiste en una continua mezcla entre vino y vinagre ya elaborado, técnica conocida como Método Orleans.

El proceso de maduración de este vinagre se lleva a cabo en una serie de barriles de distinta capacidad y de distintos tipos de madera. La porosidad de cada tipo de madera influye en el aroma y en el color del vinagre obtenido. La legislación italiana exige que el vinagre se envejezca un mínimo de 12 años, pero es necesario que este envejecimiento se alargue hasta los 50 años para que el producto tenga el aroma propio del vinagre de Módena.

Su precio es elevado y dependerá del tiempo de envejecimiento, lo que hace que el comercio de este vinagre sea muy limitado. El precio de este vinagre en botellas de un decilitro puede variar entre 50 euros para vinagres de 12 años hasta 300 euros para vinagres de 50 años.

Su denominación de origen, así como sus métodos de producción y envejecimiento, están protegidos por la legislación, Reglamento (CE) Nº 583/2009.

1.2. Vinagres balsámicos industriales y cremas balsámicas

Los vinagres balsámicos industriales pretenden acercarse a las características organolépticas del vinagre de Módena pero mediante un proceso de fabricación más sencillo y económico, no sometido a las restricciones de la Denominación de Origen.

Estos vinagres, pueden partir de otras variedades de uva que no sean necesariamente la *Trebbiano*. La oxidación de estos vinagres no siguen el método Orleans tradicional, sino una fermentación rápida en cultivo sumergido con bacterias acéticas, para así obtener el vinagre a partir de vino de manera más económica.

El proceso de maduración también es diferente. No son necesarios los barriles de distinta madera para darle al vinagre el aroma y el color característico, sino que se puede llevar a cabo una homogeneización del vinagre obtenido con aditivo caramelo E150-d.

La simplificación en el proceso de elaboración lleva consigo un notable descenso del precio de este producto, lo que permite que su adquisición esté al alcance del consumidor medio.

Por su parte, en los últimos años ha crecido el consumo de las denominadas cremas balsámicas, producto obtenido a partir de los vinagres balsámicos, mezclándolos con mosto concentrado y con más cantidad de caramelo, lo que consigue que aumente la concentración de azúcares y que el producto obtenido sea más espeso que el vinagre balsámico, otorgando nuevas y diferenciadas posibilidades culinarias.

1.3. Producción y mercado.

Desde un punto de vista económico, la producción de vinagre es una pequeña industria en la economía global de los países industrializados.

La producción y el mercado del vinagre han ido aumentando con el paso de los años, tal y como queda representado en la siguiente imagen donde se refleja las ventas de vinagre en millones de dólares desde el año 1995 hasta el año 2006:

DISEÑO DE UNA LINEA DE PRODUCCIÓN DE VINAGRES BALSÁMICOS DE PEDRO XIMÉNEZ Y DERIVADOS

Jenifer Tirve Valencia

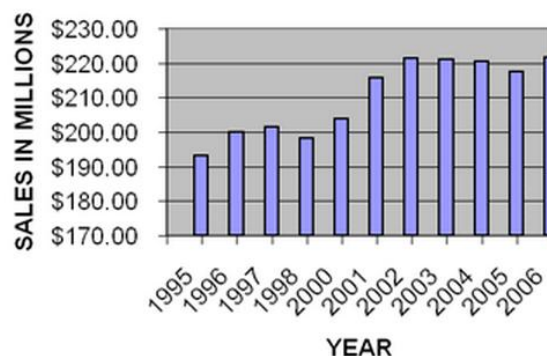


FIG.I.1: Venta de vinagre. Progressive Grocer Magazine (2007)

Europa es el mayor productor de vinagre seguido de Norte América como puede verse en la siguiente figura donde se representa la producción de vinagre en diferentes zonas a lo largo de los años comprendidos entre 2002 y 2005.

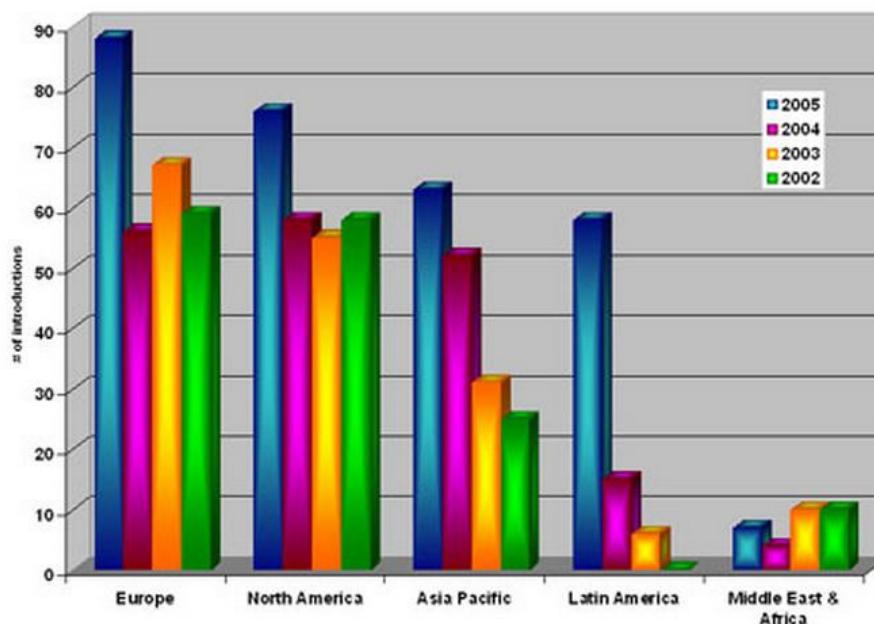


FIG.I.2: Producción global de vinagre. Mintel Custom Solutions (2006)

En 2006 se recogió la producción del año anterior de los distintos tipos de vinagres. En la siguiente figura puede verse que el

DISEÑO DE UNA LINEA DE PRODUCCIÓN DE VINAGRES BALSÁMICOS DE PEDRO XIMÉNEZ Y DERIVADOS

Jenifer Tirve Valencia

34% del vinagre producido en 2005 corresponde al vinagre balsámico.

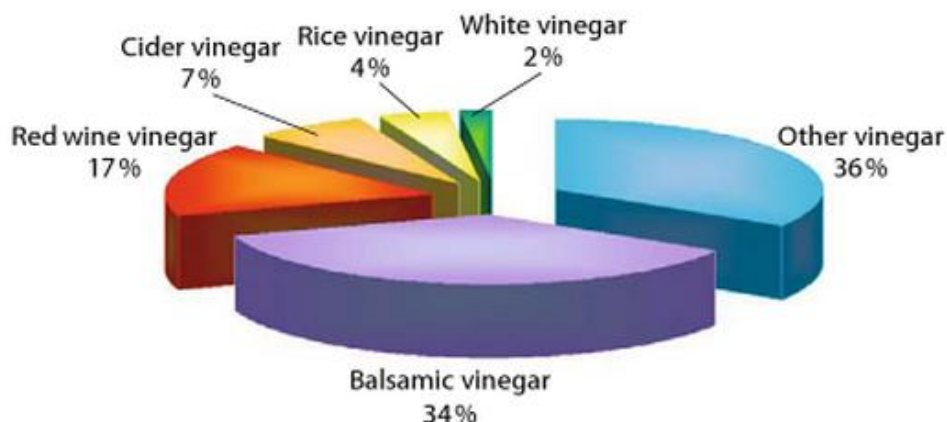


FIG.I.3: Producción de los distintos tipos de vinagres. *Mintel Custom Solutions (2006)*

En la siguiente gráfica se recoge los datos de producción de los distintos tipos de vinagre. Queda reflejado el aumento de la producción del vinagre balsámico a lo largo de los años.

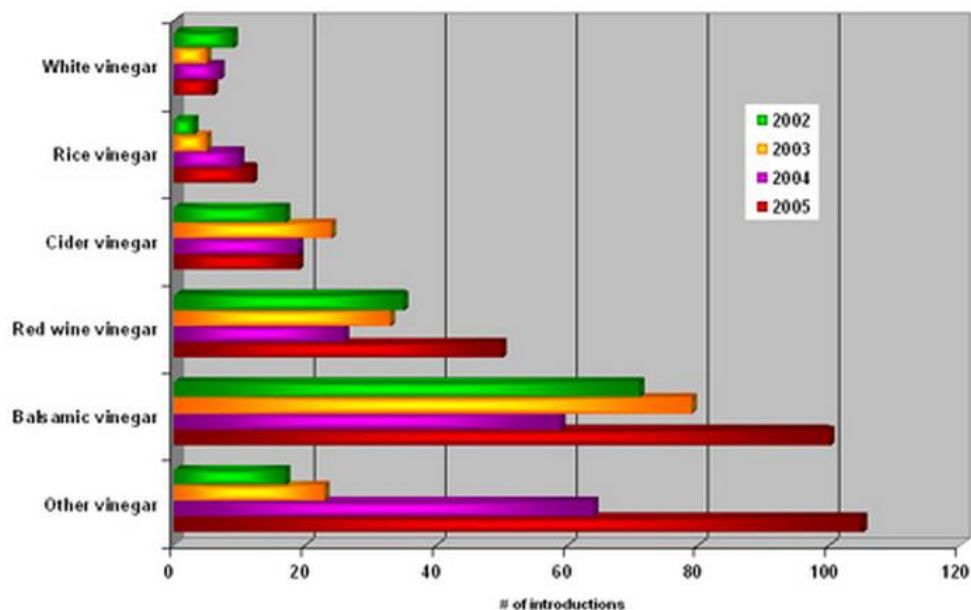
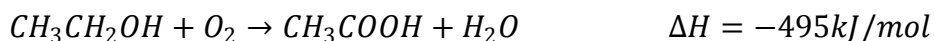


FIG.I.4: Variación de la producción de los diferentes tipos de vinagres. *Mintel Custom Solutions (2006)*

2. Fermentación acética

2.1. Descripción y variables influyentes

La fermentación acética se puede definir como un proceso aerobio de oxidación biológica mediante el cual, un sustrato con bajo contenido en etanol es oxidado parcialmente por las bacterias acéticas para dar ácido acético y agua de acuerdo a la ecuación siguiente (de Ory, I. y col, 1997a).



La oxidación del etanol se produce en dos etapas. En la primera etapa la acción del alcohol deshidrogenasa bacteriana oxida el etanol dando lugar a un producto intermedio, transformado en ácido acético (Muraoka, H. y col, 1982).

El producto de la fermentación acética es una disolución con un alto contenido en ácido acético y una pequeña cantidad de etanol no convertido. Además, también se obtiene varios productos secundarios en cantidades tan pequeñas que pueden considerarse despreciables.

La temperatura de la fermentación debe estar comprendida entre 30-31°C, aunque también resulta viable entre 28-33°C (de Ory, I. y col, 1997a). Cuando la temperatura es elevada, aumentan las pérdidas de alcohol y productos volátiles y, en menor medida, de ácido acético.

Al tratarse de un proceso aerobio, es fundamental la incorporación de aire (Soo Park, Y. y col, 1989). Se trata de una variable a fijar a voluntad en cada caso, siendo muy importante la pureza del aire, puesto que las bacterias acéticas son sensibles a los contaminantes de este.

La fermentación acética se ve influenciada por las siguientes variables:

1. pH. La actividad metabólica y el crecimiento de las bacterias acéticas están favorecidos en el rango comprendido entre 5,0 y

6,5 aunque es posible que sobrevivan y crezcan entre 3,0 y 4,0 (Swings, J. y col, 1984).

2. Etanol. Resulta tóxico para las bacterias acéticas a partir de determinadas concentraciones. Sólo algunas bacterias crecen con una concentración de etanol del 10%. Muy pocas lo harán por encima del 15% (de Ory, I. y col, 1997b).
3. Acido acético. Para concentraciones bajas de producto (menores de 10 g/L) el acido acético tiene un efecto activador de crecimiento microbiano y del consumo de etanol. Sin embargo, a concentraciones altas (mayores de 40 g/L), el efecto es inhibidor (de Ory, I. y col, 1997b).
4. SO₂. Actúa como antiséptico y antioxidante. Se añade en unas concentraciones a las cuales no se inhibe significativamente el crecimiento microbiano (25 mg/L), siendo 100 mg/L la concentración mínima para que se produzca la inhibición (Joyeux, A. y col, 1984).
5. Densidad de población. Es importante vigilar que la población bacteriana con la que se trabaja se adapte a las condiciones del proceso. Además, se acumula en los fermentadores una importante carga bacteriana que influye en las variables del proceso y en la velocidad de fermentación (de Ory, I. y col, 1999).
6. Oxígeno disuelto. El metabolismo de las bacterias acéticas es de tipo respiratorio. La concentración de oxígeno disuelto en el medio que maximiza esta actividad respiratoria está en torno a 1 ppm (Soo Park, Y. y col, 1989).
7. Temperatura. La temperatura óptima para que se maximice la velocidad de crecimiento es de 31°C. Por debajo de 8°C no se considera posible el crecimiento, al igual que para temperaturas superiores a los 35°C (de Ory, I. y col, 1997a).

2.2. Sistema de fermentación: El cultivo sumergido

En la antigüedad la elaboración del vinagre se llevaba a cabo de forma artesanal. El sustrato alcohólico se ponía en contacto con el aire sin ningún tipo de intervención humana. El humano solo intervenía para añadir al sustrato alcohólico una masa con bacterias acéticas.

En la elaboración industrial se diferencian los siguientes tipos de fermentaciones (de Ory, I. 1999):

- Fermentación en cultivo superficial
Las bacterias acéticas se encuentran en contacto directo con el oxígeno gaseoso, situadas en la interfase líquido/gas o fijadas en soportes de materiales tales como virutas.

A pesar de que este sistema supuso un notable avance tecnológico en la industrialización del vinagre, el proceso presenta varias desventajas, como es la pérdida de sustancias volátiles por evaporación, la contaminación del material de soporte y su limpieza periódica, el acondicionamiento del nuevo material y la lentitud del proceso.

- Fermentación en cultivo sumergido
Las bacterias acéticas se encuentran sumergidas libremente en el seno del líquido a fermentar, en el cual se introduce de manera constante aire en unas condiciones óptimas para asegurar que la transferencia desde la fase gaseosa a la fase líquida sea máxima. El aire se distribuye de forma homogénea con la ayuda de un dispositivo de agitación.

En este sistema, las pérdidas por evaporación son menores. Al prescindir de material de relleno, no existen problemas de contaminación de éste.

Otras ventajas que se consiguen con este sistema son las mayores velocidades de acetificación, la agilidad y eficacia conseguida en la limpieza y mantenimiento y la uniformidad alcanzada en la temperatura de operación.

En la actualidad, la fermentación en cultivo sumergido es la utilizada mayoritariamente cuando se trabaja en discontinuo como es el caso del presente proyecto. Proporciona mayores velocidades de acetificación, mayor homogeneidad del producto y costes más reducidos, lo que hace que el cultivo sumergido sea idóneo para la producción a escala industrial.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

La planta industrial está diseñada para una producción anual de 200 m³/año de vinagre balsámico de 6º de acidez (800.000 botellas de 25 cl) y 70 m³/año de crema de vinagre balsámico de 3º de acidez (280.000 botellas de 25 cl). Se operará en discontinuo o por lotes.

Las materias primas del proceso serán por un lado mosto con 14º Bé en azúcares, para concentrar y, por otro lado, vino ecológico de Pedro Ximénez de 12,5º en alcohol para su fermentación acética. De este modo, la planta industrial consta de cinco depósitos de almacenamiento: mosto, mosto concentrado, vino, vinagre balsámico y crema de vinagre balsámico.

Por un lado, el mosto PX de 14º Bé partirá del depósito de almacenamiento de mosto y se hará pasar por un evaporador para concentrarlo al doble y alcanzar los 28º Bé. Por otro lado, el vino de 12,5º partirá del depósito de almacenamiento de vino hacia el fermentador acético.

El fermentador debe mantenerse a una temperatura óptima de 31ºC. Para ello se instalará un serpentín por el que circula agua con una temperatura de entrada variable entre 15 y 25ºC, según la época del año.

El fermentador llevará también instalado un aireador-agitador con objeto de aportar el oxígeno necesario al medio fermentativo y además asegurar el buen contacto entre este y las bacterias acéticas para que la fermentación se lleve a cabo correctamente.

Además hay que evitar la acumulación de espumas en el interior del fermentador. Para ello se instala un antiespumante en la parte superior del equipo.

Con un sistema de control se controlará la temperatura del medio fermentativo para mantenerla constante a 31ºC, óptimo recogido por la bibliografía (de Ory, I. y col, 1997a). También se controlará el nivel del fermentador para que cuando finalice la fermentación se lleve a cabo la descarga del 85% del volumen útil, dejando el restante 15% para que sirva de inóculo para el siguiente lote.

El vinagre de vino de acidez comprendida entre 12 y 12,5° obtenido en el fermentador se hará pasar entonces por un filtro tangencial para eliminar la biomasa y así evitar que la fermentación continúe en el equipo siguiente.

El vinagre de vino filtrado se conducirá hacia el mezclador 1, donde se unirá a la corriente de mosto concentrado y se les añadirá caramelo para obtener así un vinagre balsámico de 14°Bé. El 85% de esta mezcla obtenida se conducirá hacia un depósito de almacenamiento de producto final para destinarlo al consumo.

El 15% restante en el mezclador 1 se dirige hacia el mezclador 2 donde se une de nuevo a otra corriente de mosto concentrado y caramelo para obtener crema de vinagre balsámico de 21°Bé. Esta crema de vinagre balsámico será descargada a su depósito de almacenamiento.

En la siguiente figura se representa un esquema general de la planta.

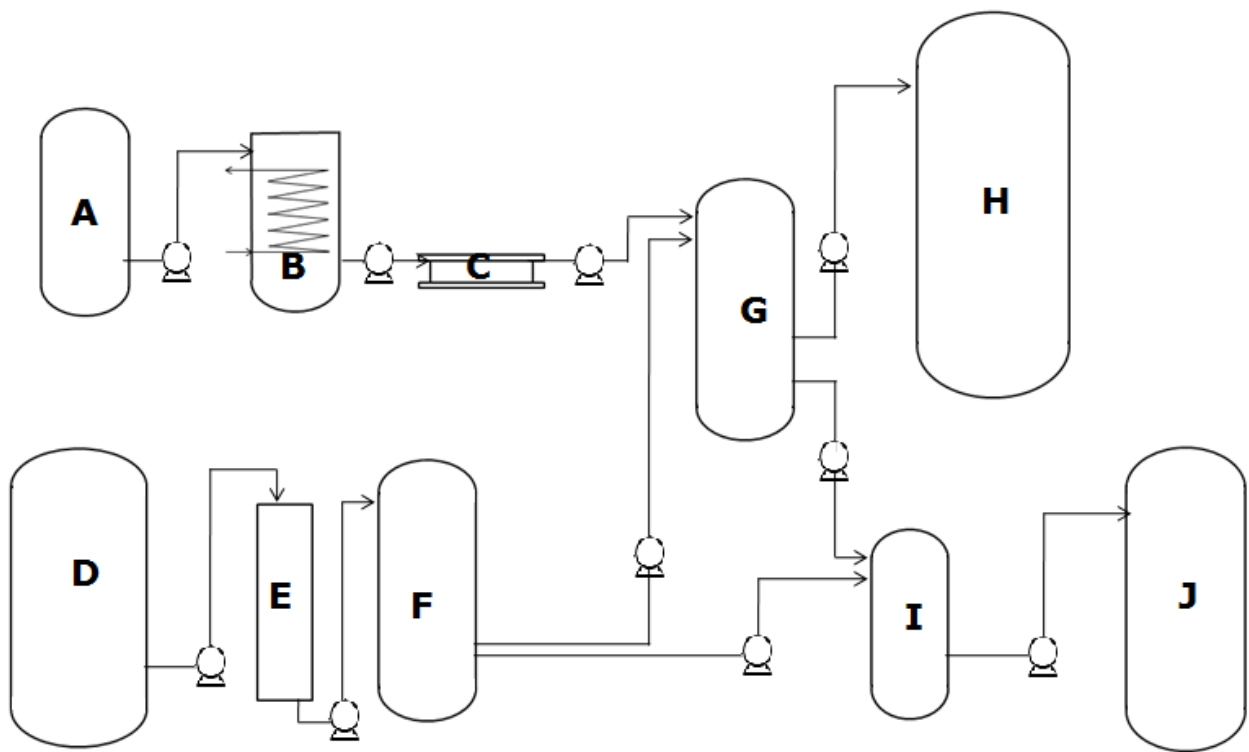


FIG II.1: Esquema general de la planta

Donde

- A es el depósito de almacenamiento de vino P.X.
- B es el fermentador acético.
- C es el equipo de microfiltración tangencial.
- D es el depósito de almacenamiento de mosto.
- E es el evaporador.
- F es el depósito de almacenamiento de mosto concentrado.
- G es el mezclador 1.
- H es el depósito de almacenamiento de vinagre balsámico.
- I es el mezclador 2.
- J es el depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico.

CAPÍTULO 6. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE EQUIPOS Y CONDUCCIONES

1. Selección de materiales

Los materiales utilizados para los equipos y conducciones deberán ser resistentes a la oxidación, a la corrosión de las sustancias con las que van a estar en contacto y a su vez, deberán tener resistencia mecánica.

Normalmente, los fermentadores son contruidos con acero inoxidable de calidad adecuada. Dependiendo de su formulación, los aceros inoxidables tienen diferentes propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión, facilidad de fabricación y coste.

Los aceros inoxidables se pueden clasificar en tres grupos:

- Aceros martensíticos: Tienen alto contenido en carbono, mientras que su contenido en cromo puede variar entre el 12 y el 20%. Estos aceros resisten a la corrosión de ácidos débiles y a la oxidación cuando se trabaja a temperaturas inferiores a los 700 °C.
- Aceros ferríticos: Tienen bajo contenido en carbono, y su contenido en cromo varía entre 15 y 30%. Estos aceros son más resistentes a la corrosión que los anteriores, soportando temperaturas hasta de 1150 °C.
- Aceros austeníticos: Estos aceros contienen entre un 16 y un 26% de cromo y un contenido de níquel variable entre 6 y 22%. El contenido en carbono es bajo, como máximo de 0,08%. Estos aceros son los más resistentes a la corrosión.

Según la bibliografía, el acero más adecuado será el acero austenítico 18% Cr y 8% Ni. Para el depósito que contenga vino se usará el tipo AISI 304 y para los que contengan mosto, vinagre balsámico y crema balsámica se usará el tipo AISI 316. La soldadura en este tipo de acero se lleva a cabo fácilmente pero el calor puede producir la precipitación del carburo de cromo, que agotaría el cromo de la aleación. En este caso la resistencia a la corrosión disminuiría. Para evitarlo, se necesita utilizar aceros con bajo contenido en carbono, como máximo un 0,03%. Por esta razón, los aceros elegidos son el AISI 304L y el AISI 316L.

Las características del vinagre y de la crema balsámica son mucho más severas que las del vino. Por ello, los materiales para los equipos serán diferentes en cada caso.

El depósito de almacenamiento de mosto y mosto concentrado, el fermentador, los mezcladores y los tanques de almacenamiento de vinagre balsámico y crema balsámica serán construidos con acero inoxidable AISI 316L. Estos aceros contienen molibdeno, lo que lo hace más resistente a la corrosión y además este acero presenta mejores propiedades para la soldadura que el AISI 316.

El depósito de almacenamiento de vino será construido con acero inoxidable 304L.

El evaporador será de acero inoxidable AISI 316.

Para elegir el material con el que se construirá la red de tuberías, se tiene que tener en cuenta el fluido que circulará por ellas.

Las tuberías por las que circula los líquidos, serán construidas con un termoplástico llamado norpreno. Este material es elegido por ser más barato que el acero inoxidable cumpliendo con los requerimientos de resistencia mecánica, temperatura y presión. Además presenta mayor durabilidad y la conexión con las bombas peristálticas es más fácil.

El sistema de refrigeración del fermentador debe ser construido con acero inoxidable AISI 316L, puesto que estará en contacto con el medio fermentativo. El trozo de conducción que une el serpentín con la red de abastecimiento de agua y el trozo por el que sale el agua y se dirige hacia la red de alcantarillado serán de silicona puesto que el fluido que circula por ella es agua.

2. Depósito de almacenamiento de mosto

El depósito de almacenamiento de mosto tiene un volumen total de $3,75 \text{ m}^3$ siendo su volumen útil $3,25 \text{ m}^3$.

La altura total de este depósito es de 3,580 m. Está constituido por una envolvente de 2,738 m de altura y 1,274 m de diámetro interno, con un espesor de 5 mm. Los fondos superior e inferior tienen

geometría toriesférica del tipo Kloper del mismo espesor que la envolvente y una altura de 274,5 mm cada uno, correspondiendo 257 mm a la altura de cada fondo y 17,5 mm a la altura de cada pestaña.

Este depósito será construido de acero inoxidable AISI 316L.

Este depósito tiene los siguientes accesorios:

- Tubo indicador de nivel, que permite visualizar el líquido en el interior del recipiente a través de un tubo graduado de PVC transparente.
- Grifo de toma de muestras, de 8 mm de diámetro, para poder analizar periódicamente.
- Boca de hombre que permite el acceso al interior del tanque para llevar a cabo el mantenimiento y la limpieza del equipo.
- Las conexiones que presenta son las siguientes:
 - o Conducción de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro en la parte superior del lateral del tanque por la que se abastecerá de materia prima cuando corresponda.
 - o Conducción de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro en la parte inferior del lateral del tanque.

Este depósito tiene como soporte 4 patas de tipo L de acero inoxidable AISI 316L, cuyas dimensiones serán 80x80x10 mm. Estas patas irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 150x12 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.

Se pueden ver todas las características dimensionales y accesorios de este depósito en el plano nº6.

3. Evaporador

3.1. Selección del evaporador

El evaporador vertical de tubos cortos es el más utilizado en la industria por su versatilidad y fácil manejo en operación. Para que se lleve a cabo la transferencia de calor, los tubos utilizados suelen tener un diámetro variable entre 38 mm y 51 mm y una longitud entre 1,5 m y 3 m. Disponen de uno o más tubos para extraer el

líquido concentrado del equipo pero para mejorar la circulación y la transferencia de calor y facilitar la salida del líquido, se utiliza un tubo colector grande situado en el centro, llamado tubo central.

La determinación del número de efectos necesario para la evaporación depende de la disponibilidad del vapor y de los costes de construcción, instalación y mantenimiento. Mediante balances de materia y energía se puede demostrar a medida que aumenta el número de efectos, existe un ahorro de vapor hasta llegar al último efecto. En el presente proyecto, el evaporador usado será de doble efecto.

3.2. Características del evaporador

En el presente proyecto se necesita un evaporador para concentrar una de las materias primas de las que se parte, el mosto. El mosto de partida tiene una concentración de 14°Bé, que se desea concentrar hasta 28°Bé.

Para ello se utiliza un evaporador de dos efectos trabajando en contracorriente. En el segundo efecto entrará una corriente de vapor de calefacción de 17,11 kg/h y se obtendrá en el primer efecto una corriente de 22,5 kg/h de mosto concentrado.

La corriente de mosto de 45 kg/h entrará como se ha dicho anteriormente en contracorriente en el segundo efecto. En este efecto se obtendrá una corriente de mosto con una concentración intermedia a razón de 34,26 kg/h y que será la corriente de entrada del primer efecto para obtener la corriente de mosto a la concentración deseada.

Las áreas de intercambio de calor necesarias para llevar a cabo la evaporación en el primer efecto y en el segundo serán de 0,28 m² y 0,20 m² respectivamente. Por lo tanto, el evaporador usado tendrá 2 tubos en el primer efecto de 32 mm de diámetro y 1,4 m de longitud, mientras que en el segundo efecto tendrá dos tubos de 30 mm de diámetro y 1 m de longitud.

4. Depósito de almacenamiento de mosto concentrado

El depósito de almacenamiento de mosto tiene una capacidad de 2,13 m³ siendo su volumen útil 2 m³.

La altura total de este depósito es de 2,467 m. Está constituido por una envolvente de 1,995 m de altura y 1,084 m de diámetro interno, con un espesor de 5 mm. Los fondos superior e inferior tienen geometría toriesférica del tipo Kloppe del mismo espesor que la envolvente y una altura de 236,5 mm cada uno, correspondiendo 219 mm a la altura de cada fondo y 17,5 mm a la altura de cada pestaña.

Este depósito será construido de acero inoxidable AISI 316L.

Este depósito tiene los mismos accesorios que el tanque de almacenamiento del mosto (tubo indicador, grifo de muestras, boca de hombre). En cuanto a las conexiones, son las siguientes:

- Conducción de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno en la parte superior del lateral del tanque.
- Dos conducciones de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno en la parte inferior del lateral del tanque.

Este depósito tiene como soporte 4 patas de tipo L de acero inoxidable AISI 316L, cuyas dimensiones serán 70x70x10 mm. Estas patas irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 120x10 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.

Se pueden ver todas las características dimensionales y accesorios de este depósito en el plano nº 7.

5. Depósito de almacenamiento de vino

El tanque de almacenamiento de vino tiene un volumen total de 1,4 m³ siendo su volumen útil de 1,25 m³.

Como ya se ha mencionado en el apartado 'Selección de materiales' de este capítulo, este tanque se ha diseñado de acero inoxidable AISI

304L debido a que las características del vino son menos severas que las del vinagre.

La altura total de este tanque es de 1,99 m. Está constituido por una envolvente de 1,59 m de altura y 0,927 m de diámetro interno con un espesor de 4 mm. Tanto el fondo superior como el inferior son de geometría toriesférica, del tipo Klopper, también de 4 mm de espesor y una altura de 201 mm cada uno, correspondiendo 187 mm a la altura de cada fondo y 14 mm a la altura de cada pestaña.

Este depósito tiene los mismos accesorios descritos anteriormente (tubo indicador, grifo de muestras, boca de hombre). En cuanto a las conexiones, son las siguientes:

- Conducción de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno en la parte superior del lateral del tanque por la que se abastecerá de materia prima cuando corresponda.
- Conducción de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno en la parte inferior del lateral del tanque.

Este depósito tiene como soporte 4 patas el tipo L de dimensiones 70x70x10 de acero inoxidable AISI 304L. Estas patas irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 120x10 mm.

En el plano nº 5 se pueden ver todas las características dimensionales y los accesorios de este depósito.

6. Fermentador

El fermentador tiene un volumen total de 1,44 m³ un volumen útil de 1,25 m³. El fermentador y todos sus accesorios están fabricados de acero inoxidable AISI 316L.

La altura total del fermentador es de 1,61 m. Está formado por una envolvente de 1,39 m de longitud y un diámetro interno de 1,02 m con un espesor de 4 mm. A este cuerpo cilíndrico central irá soldado un fondo inferior de geometría toriesférica, tipo Klopper, también de 4 mm de espesor y una altura de 220 mm, correspondiendo 206 mm a la

altura del fondo inferior y 14 mm a la altura de la pestaña. En la parte superior de la envolvente irá soldado un conjunto de brida de vacío-brida ciega (denominadas DN500CF según norma), que hace la función de fondo superior del fermentador.

El fondo superior se ha diseñado así para que el fermentador se pueda abrir para su limpieza. En fondo superior del fermentador está instalado el antiespumante con su correspondiente salida de aire de espuma y espuma concentrada. También cuenta con una conexión para la salida de aire.

El fermentador cuenta con los siguientes accesorios:

- Tubo indicador de nivel, que permite visualizar el nivel de líquido en el interior del fermentador a través de un tubo graduado de PVC transparente.
- Grifo de toma de muestras, para la extracción de pequeñas cantidades de líquido del fermentador, de 8 mm de diámetro.
- Mirilla para poder observar el correcto funcionamiento del sistema de aireación.
- Conexiones de acero inoxidable AISI 316L:
 - o Conducción de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno en la parte superior del lateral del tanque.
 - o Conducción de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno en la parte inferior del lateral del tanque.
 - o Conducción de entrada y salida del agua de refrigeración, de 24 mm de diámetro interno en un lateral del fermentador.

En este caso las dimensiones de este equipo no permiten que la limpieza se lleve a cabo desde el interior, por lo tanto no tendrá boca de hombre. El serpentín irá conectado a la tapa superior del fermentador para que se pueda extraer y su mantenimiento y limpieza se pueda llevar a cabo desde fuera.

El fermentador tiene como soporte cuatro patas de apoyo de tipo L de dimensiones 70x70x10. Estas patas serán del mismo material que el

fermentador, es decir, de acero inoxidable 316L. Estarán igualmente espaciadas, soldadas en una placa cuadrangular de dimensiones 120x10.

Todas las características dimensiones y accesorios se pueden ver en los planos nº 4A y 4B.

7. Antiespumante

La fermentación acética puede originar la formación de espumas. Esta espuma debe ser eliminada para que el producto obtenido alcance la calidad requerida.

Para eliminar esta espuma, se instala en el interior del fermentador un antiespumante. Estará situado en el superior del fermentador, sujetado por una brida. Unido a este antiespumante estará una tubería por la que se absorberá la espuma generada en la superficie del medio fermentativo. La carga máxima y el flujo máximo de la espuma concentrada dependen de la frecuencia eléctrica. A 50 Hz se alcanza el límite a un 50% de la fase líquida en la espuma y a 60 Hz, el porcentaje de líquido no debe exceder el 40%.

Existen antiespumantes que eliminan del reactor el líquido separado y otros que permiten que el fluido separado vuelva al medio fermentativo. Para el presente proyecto, se usará un antiespumante con recirculación al medio fermentativo para que las pérdidas sean menores.

Otra posibilidad sería utilizar un antiespumante químico, pero esos agentes químicos están prohibidos en muchas industrias alimentarias.

Teniendo en cuenta el diseño del fermentador y las condiciones de trabajo se opta por utilizar un antiespumante Frings tipo 150 capaz de retirar 25 m³/h de espuma. A continuación se muestra una imagen del equipo y un esquema en el que se detalla los orificios de salida del concentrado de espuma y del aire.

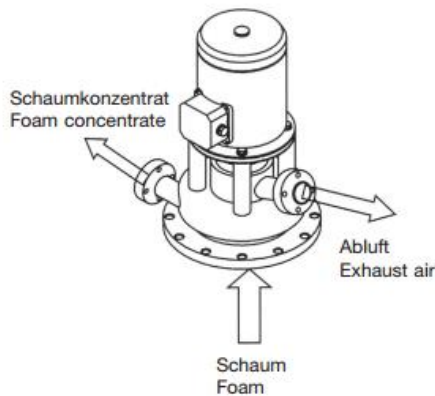


FIG III.1: Imagen y esquema del antiespumante Frings tipo 150

La elección del antiespumante dependerá de la cantidad de espuma que se produzca que a su vez dependerá de la entrada de aire en el fermentador y de la velocidad de aireación.

8. Sistema de refrigeración del fermentador

8.1. Selección del sistema de refrigeración.

La fermentación acética es una reacción exotérmica, lo que provoca que la temperatura en el medio fermentativo vaya aumentando conforme la reacción va avanzando. Este hecho hace que sea necesaria la instalación de un sistema de refrigeración en el interior del fermentador para absorber el calor producido y conseguir que la temperatura se mantenga constante alrededor de 31°C, que es la temperatura óptima de la reacción.

Para el presente proyecto se elige como sistema de refrigeración un serpentín, ya que los costes se verían disminuidos frente a la posibilidad de elegir una camisa de refrigeración. El serpentín presenta la desventaja de que al estar sumergido en el medio fermentativo se pueden quedar adheridos a su pared ciertos residuos que se generan durante la reacción. Si esto ocurriese, dificultaría la absorción del calor generado ya que supondría una nueva resistencia a la transferencia de calor. Sin embargo, el medio fermentativo está en continuo movimiento gracias a la agitación

provocada por el sistema de aireación, lo que hace que esta adherencia se minimice. Aún así el funcionamiento de la planta se detendrá dos veces al año para cumplir debidamente con las labores de mantenimiento y limpieza.

Para mantener la temperatura del medio fermentativo constante, por el interior del serpentín se hará circular agua de la red. Al estar sumergido en el medio fermentativo, es necesario que el serpentín esté construido del mismo material que el fermentador.

8.2. Características del sistema de refrigeración.

El serpentín será una conducción de acero inoxidable AISI 316L de diámetro interno 28 mm y espesor 2 mm. El serpentín tiene una longitud total de 30,4 m, la espiral que forma es de 0,88 m y consta de 11 vueltas repartidas en una altura de 0,62 m. La entrada de agua se realiza por una conducción recta de 20 cm de longitud a partir de la envolvente del fermentador, a 1,035 m del fondo inferior mientras que la salida de agua se realiza por el mismo lateral del fermentador, a través de una conducción recta de igual tamaño que la de entrada, situada a una altura de 0,415 m del fondo inferior del fermentador.

El serpentín está sujeto firmemente mediante bridas a las dos conexiones soldadas a la pared del fermentador.

Las conexiones del fermentador serán dos bridas NW40 cuya función es unir la conducción del serpentín con la conducción de entrada de agua de red. Los extremos del serpentín tienen soldados una brida de vacío NW40 que se unirán a las bridas de las conexiones del fermentador mediante un anillo de centrado y una junta de vitón. El cierre concluye con una abrazadera que las mantiene firmes y evita así el escape de agua con la presencia del anillo de vitón.

La conducción de entrada está conectada a la red de abastecimiento por una conducción de silicona. En ella se coloca una electroválvula conectada a un controlador. En el interior del fermentador se instalan termopares que miden la temperatura del medio fermentativo. Éstos mandarían la señal correspondiente al

controlador para que la electroválvula se abra o se cierre y deje pasar el agua necesaria para mantener constante la temperatura del medio fermentativo.

La salida se conecta a otra conducción de silicona que conduce el agua directamente a la red de alcantarillado.

Las características del serpentín pueden verse en el plano n°4C.

9. Sistema de aireación y aporte de O_2 al fermentador

Para que la fermentación se lleve a cabo de forma correcta es necesario un sistema de aireación en el fermentador para que se alcance el grado de acidez deseado y por lo tanto, que la velocidad de acetificación sea la mayor posible.

Se recomienda que el gas tenga una velocidad suficiente para que proporcione al medio fermentativo una agitación adecuada; lo que facilitaría la difusión de oxígeno en el medio. Pero si la velocidad del gas fuese muy elevada, se produciría la coalescencia significativa de las burbujas de aire; lo que dificultaría el proceso de difusión. Para evitarlo, se requiere un aporte de volumen de aire por unidad de volumen de fermentador y unidad de tiempo entre $0,1$ y $0,4 \text{ min}^{-1}$.

Por lo tanto, el sistema de aireación del presente proyecto ha sido diseñado para que suministre entre 125 y 500 l/min de aire al medio fermentativo.

Para seleccionar el aireador-agitador adecuado, se tendrá en cuenta que lo que se pretende conseguir es que el contacto entre las bacterias y el oxígeno este favorecido y para ello es necesario que el diámetro de la burbuja sea lo más pequeño posible. El aireador adecuado para el presente proyecto será entonces uno cuyo caudal sea relativamente bajo.

En el presente proyecto será suficiente con utilizar un difusor de aire conectado a una soplante centrífuga.

10. Sistema de filtración

El vinagre de vino obtenido mediante fermentación acética, contiene partículas en suspensión que proporciona al vinagre cierta turbidez. Esta turbidez debe ser eliminada mediante un sistema de filtración. Además, al tratarse de bacterias, con la filtración se evita que la fermentación continúe en el equipo siguiente.

10.1. Selección del sistema de filtración

La filtración tradicional consiste en hacer pasar el producto perpendicularmente al medio filtrante, quedando las partículas en suspensión retenidas sobre éste. Este problema se elimina con la filtración tangencial que consiste en que el producto circula paralelamente al medio filtrante, quedando reducida la formación de depósitos. Por lo tanto, para el presente proyecto se llevará a cabo la filtración de forma tangencial ya que tiene numerosas ventajas frente a la tradicional en la industria enológica, como son el tratamiento suave del producto y una mayor eficacia de separación.

Normalmente, antes de la filtración se lleva a cabo una clarificación para evitar la colmatación del medio filtrante. Con la filtración tangencial no se produce dicha colmatación, por lo que se puede llevar a cabo ambas operaciones en un solo paso.

Además, también presenta ventajas desde el punto de vista medioambiental ya que reduce el consumo de energía y la producción de residuos al tratarse de un método en el que no se adiciona productos químicos.

El problema de la filtración tangencial es el ensuciamiento de las membranas. Existe gran variedad de membranas en función de la biomasa a separar. Dependiendo de cuál sea la elegida, su vida útil variará pudiendo llegar ser de varios años, lo que hace aún más económico la elección de este sistema de filtración. Para el presente proyecto, el ensuciamiento de estas membranas no será un problema demasiado importante al trabajar en discontinuo. Cuando sea necesario limpiar el equipo, se aprovechará la parada entre un ciclo fermentativo y otro y así la calidad del producto obtenido no se verá

afectada. Independientemente de estas labores de limpieza, el equipo también tendrá su mantenimiento correspondiente en los periodos anuales fijados para el mantenimiento de la planta.

El sistema estará automatizado para que una vez se llegue a la acidez deseada y se dé por finalizado el ciclo fermentativo, se ponga en funcionamiento la descarga del 85% del volumen útil del fermentador lo que significará la carga automática del sistema de filtración sin necesidad de estar supervisando continuamente el proceso.

10.2. Descripción técnica

El equipo elegido será el sistema de filtración 'Minitan' con membranas de microfiltración de la empresa Corporación Millipore (Bedford, USA).

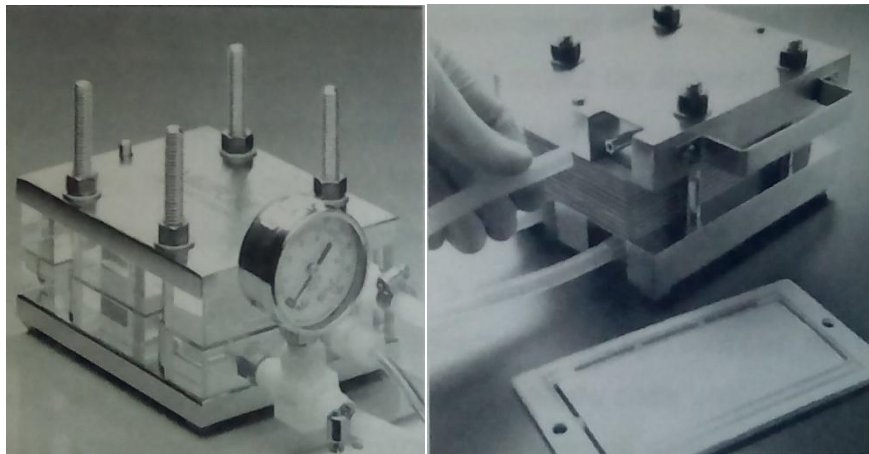


FIG IV.1: Sistema de microfiltración tangencial

Los soportes del equipo de la imagen de la izquierda son acrílicos. Debido a las características corrosivas del vinagre, será necesario que los soportes internos sean de acero inoxidable AISI 316L, como los del equipo de la imagen de la derecha, siendo las demás características idénticas.

Este equipo de microfiltración tendrá un manómetro a la entrada que medirá la presión transmembranal en cada momento.

Gracias a esta medida de presión, se podrá determinar el momento en el que sea necesario llevar a cabo la limpieza de las membranas.

Las dimensiones del equipo son 152x114x120 mm (largo x ancho x alto). La base del sistema consiste en dos láminas de membrana selladas a un soporte rígido. En una célula de filtración como esta, se pueden apilar hasta 10 placas, siendo la superficie de filtración variable entre 60 y 600 cm² dependiendo del número de placas apiladas. En el presente proyecto el área de filtración requerida se consigue apilando dos placas.

La membrana de microfiltración es de PVDF (difluoruro de polivinilideno) Durapore, con una superficie útil de 0,01 m² y el tamaño de poro definido es de 0,45 µm.

11. Mezclador 1

11.1. Dimensiones del equipo

El mezclador 1 tiene un volumen total de 2,45 m³ y un volumen útil de 2,12 m³.

La altura total de este depósito es de 2,10 m. Está constituido por una envolvente de 1,55 m de altura y 1,274 m de diámetro interno, con un espesor de 5 mm. Tanto el fondo superior como el fondo inferior tienen geometría toriesférica del tipo Klopper, de un espesor de 5 mm y una altura de 274,5 mm cada uno, correspondiendo 257 mm a la altura de cada fondo y 17,5 mm a la altura de cada pestaña.

Este depósito será construido del mismo material que el fermentador debido a las características del vinagre balsámico, es decir, acero inoxidable AISI 316L.

El depósito tiene como accesorios un tubo indicador de nivel, un grifo para toma de muestras y boca de hombre. Las conexiones que presenta son las siguientes:

- Dos conducciones de alimentación del tanque de 8 mm de diámetro interno en la parte superior del lateral del tanque.

Una conducción de alimentación corresponde a la corriente de vinagre de vino filtrado y otra a la corriente de mosto concentrado.

- Dos conducciones de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno en la parte inferior del lateral del tanque. Una conducción de descarga corresponde a la corriente que alimentará el depósito de almacenamiento de vinagre balsámico y otra corresponde a la corriente que alimentará al mezclador 2.

Este depósito tiene como soporte 4 patas de tipo L de acero inoxidable AISI 316L, cuyas dimensiones serán 80x80x10 mm. Estas patas irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 150x12 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.

Se pueden ver todas las características dimensionales y accesorios de este depósito en el plano nº8.

11.2. Sistema de agitación

Los agitadores para llevar a cabo el mezclado puede ser de diferentes tipos:

- De flujos o corrientes:
 - o Mezcladores de chorro
 - o Sistema de circulación mixta
- De paletas o brazos:
 - o Mezcladores de paletas móviles y recipiente fijo.
 - o Mezcladores de paletas y recipiente móviles.
- De turbinas o de impulsos centrífugos
- Por medio de agitación

Para el presente proyecto el agitador seleccionado para la obtención de vinagre balsámico será de paletas móviles y recipiente fijo, por ser el más usado, por tener un costo inicial generalmente bajo y por el buen resultado que proporciona.

Estos agitadores son seleccionados para mezclar cantidades superiores a 20 litros y entre sus desventajas se tendrá en cuenta la limpieza del agitador y el elevado consumo de energía que requiere.

12. Depósito de almacenamiento de vinagre balsámico

El depósito de almacenamiento de vinagre balsámico tiene un volumen total de $11,5 \text{ m}^3$ y un volumen útil de 10 m^3 .

La altura total de este depósito es de 3,580 m. Está constituido por una envolvente de 3,179 m de altura y 1,853 m de diámetro interno, con un espesor de 6 mm. Tanto el fondo superior como el fondo inferior tienen geometría toriesférica del tipo Klopper, de un espesor de 8 mm y una altura de 401 mm cada uno, correspondiendo 373 mm a la altura de cada fondo y 28 mm a la altura de cada pestaña.

Este depósito será construido del mismo material que el fermentador, es decir, acero inoxidable AISI 316L, debido a las características abrasivas del vinagre.

El depósito también tiene como accesorios un tubo indicador de nivel, una boca de hombre y un grifo para toma de muestras. Las conexiones que presenta son las siguientes:

- Conducción de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno en la parte superior del lateral del tanque.
- Conducción de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno en la parte inferior del lateral del tanque por donde se descargará el producto cuando corresponda.

Este depósito tiene como soporte 4 patas de tipo L de acero inoxidable AISI 316L, cuyas dimensiones serán 100x100x14 mm. Estas patas irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 200x10 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.

Se pueden ver todas las características dimensionales y accesorios de este depósito en los planos N°9.

13. Mezclador 2

13.1. Dimensiones del equipo.

El mezclador 2 tiene un volumen total de $0,75 \text{ m}^3$ y un volumen útil de $0,64 \text{ m}^3$.

La altura total de este depósito es de 1,41 m. Está constituido por una envolvente de 1,037 m de altura y 0,855 m de diámetro interno, con un espesor de 4 mm. Tanto el fondo superior como el fondo inferior tienen geometría toriesférica del tipo Klopper, de un espesor de 4 mm y una altura de 187 mm cada uno, correspondiendo 173 mm a la altura de cada fondo y 14 mm a la altura de cada pestaña.

Este depósito será construido del mismo material que el fermentador debido a las características de la crema de vinagre balsámico, es decir, acero inoxidable AISI 316L.

Este mezclador también tiene como accesorios un tubo indicador de nivel, una boca de hombre y un grifo para toma de muestras. Las conexiones en este caso son las siguientes:

- Dos conducciones de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno en la parte superior del lateral del tanque. Una conducción de alimentación corresponde a la corriente de la mezcla obtenida en el mezclador 1 y otra corresponde a la corriente de mosto concentrado.
- Conducción de descarga del tanque de 8 mm de diámetro interno en la parte inferior del lateral del tanque.

Las dimensiones de este equipo, al igual que en el caso del fermentador, no permiten que la limpieza se lleve a cabo desde el interior, por lo tanto no tendrá boca de hombre. El mantenimiento y limpieza de este equipo también se llevará a cabo desde fuera.

Este depósito tiene como soporte 4 patas de tipo L de acero inoxidable AISI 316L, cuyas dimensiones serán 70x70x10 mm. Estas patas irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 120x10 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.

Se pueden ver todas las características dimensionales y accesorios de este depósito en el plano nº10.

13.2. Sistema de agitación.

Por la misma razón comentada en el apartado del mezclador 1, el sistema de agitación empleado será en este caso un agitador de palas móviles y recipiente fijo.

14. Depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico.

El depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico tiene un volumen total de $5,75 \text{ m}^3$ y un volumen útil de 5 m^3 .

La altura total de este depósito es de 3,161 m. Está constituido por una envolvente de 2,53 m de altura y 1,471 m de diámetro interno, con un espesor de 5 mm. Tanto el fondo superior como el fondo inferior tienen geometría toriesférica del tipo Klopper, de un espesor de 6 mm y una altura de 318 mm cada uno, correspondiendo 297 mm a la altura de cada fondo y 21 mm a la altura de cada pestaña.

Este depósito será construido de acero inoxidable AISI 316L. Respecto a los accesorios, contará con los mismos que el resto de los tanques de almacenamiento, es decir, tubo indicador de nivel, boca de hombre y grifo para toma de muestras). Respecto a las conexiones que presenta, son las siguientes:

- Conducción de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno en la parte superior del lateral del tanque.
- Conducción de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno en la parte inferior del lateral del tanque por la que se descargará el producto cuando corresponda.

Este depósito tiene como soporte 4 patas de tipo L de acero inoxidable AISI 316L, cuyas dimensiones serán 100x100x10 mm. Estas

patas irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 200x10 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.

Se pueden ver todas las características dimensionales y accesorios de este depósito en el plano nº11.

15. Impulsión de fluidos y control de flujo

15.1. Conducciones

En el presente proyecto se diseñarán dos tipos de conducciones diferentes, las conducciones por las que circula las materias primas y los productos de la planta y la conducción del sistema de refrigeración del fermentador.

- Red de conducciones de la planta:

Como se mencionó en el primer apartado de este capítulo, 'Selección de materiales', la red de tuberías de la planta será de noprreno. El uso de este termoplástico está permitido en la industria alimentaria y es perfectamente compatible con los fluidos que se van a transportar.

Las características de la red de tuberías son las siguientes:

- Diámetro nominal: 5/16".
- Diámetro externo: 11,2 mm.
- Espesor: 1,6 mm.
- Diámetro interno: 8 mm.

La red de tuberías estará conectada mediante abrazaderas mecánicas a los equipos correspondientes a cada tramo de conducción en los que se divide la planta.

En el apartado 13.1 'Válvulas' se especificará cada tipo de válvulas que se instalarán en cada tramo de tubería.

- Conducción de agua de refrigeración:

El hecho de que el serpentín esté inmerso en el medio fermentativo hace necesario que su conducción sea de acero inoxidable AISI 316L, al igual que el fermentador. La entrada y la salida del serpentín ira unido al lateral del fermentador por medio de bridas, también de acero inoxidable AISI 316L.

La entrada de agua ira conectada a la red de abastecimiento local mediante una conducción de silicona. En esta conducción se colocará una electroválvula que regulará la entrada de agua para mantener la temperatura del interior del fermentador en el valor previamente fijado. Del mismo modo, la salida de agua hacia el tanque de almacenamiento también será mediante una conducción de silicona.

Las características del sistema de refrigeración son las siguientes:

- Diámetro nominal: 15/16".
- Diámetro externo: 28 mm.
- Espesor: 2 mm.
- Diámetro interno: 24 mm.

15.2. Bombas

En el presente proyecto se necesita la instalación de nueve bombas peristálticas para la impulsión de líquidos y una soplante centrífuga para la aireación del fermentador.

Debido a que los caudales de trabajo en la planta van a ser pequeños, no será necesario el uso de bombas centrífugas. El menor caudal usado será de 4,4 L/h y el mayor será de 45 L/h. Por lo tanto por motivos de sencillez se decide hacer uso de bombas peristálticas. Las bombas seleccionadas deben ser capaces de comunicar una altura útil variable entre 2 y 4,3 metros según la zona de la planta.

Las bombas usadas en el presente proyecto serán bombas peristálticas, modelo Percom N-M similar. Estas bombas tienen un motor de 12 W, velocidad seleccionable entre 20 y 200 rpm y

alimentación 220V y 50 Hz. Sus dimensiones son 16x12x18 cm (alto x ancho x fondo). Esta bomba permite regular el caudal de líquido impulsado entre 1,080 L/h y 73,8 L/h.

15.3. Válvulas

A continuación se explica los diferentes tipos de válvulas que se van a usar en el presente proyecto, la conducción donde van a estar instaladas y las características técnicas de cada una de ellas.

- Válvulas manuales ON/OFF.

Al trabajar en discontinuo es necesario colocar válvulas manuales en las conducciones por donde se alimentan los tanques, para abrirlas y cerrarlas según se quiera cargar o descargar cada tanque.

Por lo tanto, en el presente proyecto se instalarán diez válvulas manuales que estarán situadas en los siguientes puntos de la planta.

- A la entrada del tanque de almacenamiento de vino. Esta válvula se abrirá cuando la planta reciba carga de materia prima y se desee llenar el tanque de almacenamiento.
- A la salida del filtro tangencial. Esta válvula se abre y se cierra para permitir el paso del vinagre de vino filtrado hacia el mezclador 1.
- A la entrada del tanque de almacenamiento de mosto. Esta válvula se abrirá cuando la planta reciba carga de materia prima y se desee llenar este depósito.
- A la salida del tanque de almacenamiento de mosto. La válvula se abrirá para cargar el evaporador y se cerrará cuando se haya dejado pasar 3,25 m³ de mosto.
- A la salida del evaporador. Esta válvula se abrirá para cargar el depósito de almacenamiento de mosto

concentrado y se cerrará cuando se haya dejado pasado un volumen de $1,625 \text{ m}^3$ de mosto concentrado.

- A la salida del tanque de almacenamiento de mosto concentrado habrá dos válvulas, una por cada conducción de salida. Una de ella se abrirá cuando se desee cargar el mezclador 1 y se cerrará cuando se haya dejado pasar un volumen de $1,06 \text{ m}^3$. La otra válvula se abrirá cuando se desee cargar el mezclador 2 y se cerrará cuando se haya dejado pasar un volumen de $0,32 \text{ m}^3$.
- A la salida del depósito de almacenamiento de vinagre balsámico. Esta válvula se abrirá cuando se desee descargar este depósito.
- A la salida del mezclador 2 hay una válvula que se abrirá cuando la operación de mezcla haya finalizado y se cerrará cuando se haya dejado pasar hacia el depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico un volumen de $0,64 \text{ m}^3$.
- A la salida del depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico. Esta válvula se abrirá cuando se desee descargar este depósito.

Las válvulas manuales serán de la marca Hoke Serie 7G, son válvulas de acero inoxidable 316, de tipo bola de dos vías.

- Electroválvulas ON/OFF.

Las electroválvulas están diseñadas para llevar a cabo un control del sistema de forma automática, para alcanzar una operación segura y estable.

Las electroválvulas serán las encargadas de asegurar que ciertas variables del sistema permanezcan en sus valores adecuados y para ello estarán accionadas con su correspondiente controlador, que entrará en funcionamiento cuando dichas variables no estén en su valor previamente fijado.

En el capítulo 9 'Sistemas de control' se explica detalladamente en que consiste en control de cada variable del sistema.

En el presente proyecto, se instalarán seis válvulas electrónicas que estarán situadas en los siguientes puntos de la planta:

- Conducción de alimentación del fermentador. La válvula se abrirá cuando se desee cargar el fermentador para ocupar con vino fresco P.X. el volumen desalojado por el vinagre de vino descargado y se cerrará cuando en el fermentador vuelva a haber un volumen útil de $1,25 \text{ m}^3$.
- Conducción de descarga del fermentador. Se analizará la acidez del medio fermentativo para determinar el momento en el que haya finalizado la fermentación. En este momento abrirá la válvula para descargar el vinagre de vino y se cerrará cuando haya descargado el 85% del volumen útil del equipo.
- A la salida del mezclador 1 en la conducción de alimentación del depósito de almacenamiento de vinagre balsámico. Cuando en el interior del mezclador 1 se alcance una acidez de 6° , se abrirá esta válvula para hasta que se descargue el 85% de su volumen útil. En ese momento se cerrará la válvula
- A la salida del mezclador 1, en la conducción de alimentación del mezclador 2. Esta válvula se abrirá cuando en el interior del mezclador 1 quede el 15% de su volumen útil y se cerrará cuando este volumen haya sido desalojado hacia el mezclador 2.
- Conducción de entrada de agua de refrigeración en el fermentador. Se medirá la temperatura en el medio fermentativo y la válvula se abrirá para dejar pasar el agua de refrigeración y conseguir que la temperatura del medio disminuya y se mantenga constante a 31°C .
- Conducción de salida de agua de refrigeración en el fermentador. Esta válvula permanecerá abierta o cerrada según se necesite permitir o interrumpir el

paso del agua de refrigeración para mantener la temperatura del medio fermentativo a 31°C.

En concreto las válvulas electrónicas serán de la marca Norgren, modelo 8273. Son válvulas de dos vías de acero inoxidable.

CAPÍTULO 7. MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTO

1. Mosto Pedro Ximénez

El mosto utilizado para la elaboración de vinagre balsámico del presente Proyecto proviene de la uva de Pedro Ximénez. Esta variedad de uva es de aspecto redonda, piel fina, casi transparente. Encuentra su hábitat ideal en climas secos y calurosos por lo que se ha dejado de cultivar en algunas zonas costeras debido a que se ven perjudicadas por la brisa marina. A partir de esta variedad de uva se puede llegar a obtener mostos muy azucarados de 30°Bé. Esta alta concentración de azúcares y su baja acidez conllevan a que los vinos elaborados con esta uva sean muy alcohólicos.

Debido a la delicadez de esta uva, el corte de los racimos debe ser escrupuloso cuando éstas estén en perfectas condiciones de madurez y de sanidad vegetal. El transporte se realiza en cajas cuidadosamente para no romper las uvas hasta la bodega. Una vez aquí los racimos se exponen al sol extendidos en largas tiras de material plástico o sobre esterillas de paja de aproximadamente un metro de ancho. Los rayos ultravioletas inician un complejo proceso en el que los racimos van pasificándose, van perdiendo agua, se concentran sus componentes, evolucionan los aromas de la uva y se acelera su maduración. Los operarios deben darle vueltas a los racimos cada dos o tres días para que todas las uvas se pasifiquen por igual. Cuando se alcanza el punto óptimo de pasificación, los racimos se recogen y se transportan hacia el lagar, donde comienza la extracción del mosto.

El proceso de extracción del mosto comienza con la molienda. La molturación se lleva a cabo con moledoras de rodillos. Esta fase debe ser delicada porque se debe evitar que los rodillos se aproximen excesivamente porque se podría romper las pepitas de la uva y eso conllevaría al enranciamiento de los aceites que contienen.

La pasta que se obtiene de la molienda se deja escurrir y se obtiene una escasa proporción de mosto dulcísimo y aromático.

Una vez acabado el escurrido, se lleva a cabo el primer prensado, para intentar extraer el mosto de las pasas que han quedado sin romper. La fuerza de esta prensa horizontal es insuficiente para extraer

todo el mosto que contiene la pasta, por lo que al finalizar este prensado aún queda pasas sin romper que hace necesario que se lleve a cabo un segundo prensado.

Para el segundo prensado se utiliza una prensa hidráulica con la que se extrae las últimas fracciones de mosto. El zumo recogido es aún más dulce que los anteriores.

El cultivo ecológico de la uva es aquel en el que no se utilizan compuestos químicos para llevar a cabo el control de plaga, sino que los agricultores solo necesitan tratamientos preventivos en el cultivo. Durante la cosecha, se lleva a cabo la cuidadosa selección de las uvas sanas, consiguiéndose así cosechas más pequeñas de uvas de gran calidad cuyos aromas y sabores no se ven enturbiados por los aditivos químicos.

El mosto ecológico P.X utilizado en el presente proyecto proviene de uvas de Pedro Ximénez cultivadas ecológicamente. Este mosto ecológico tendrá una concentración de 14°Bé de azúcares (240 g/L).

2. Vino Pedro Ximénez

Por definición, se considera un vino ecológico aquel 'vino elaborado a partir de uvas cultivadas ecológicamente' mediante técnicas agrícolas basadas en la Normativa Europea 2092/91 (Reglamento (CEE) nº 2092/91). La higiene de la bodega es esencial para reducir el uso de conservantes y antioxidantes, siendo en anhídrido sulfuroso el único utilizado, después de la fermentación y en cantidades mínimas.

El vino Pedro Ximénez se obtiene a partir del mosto extraído de la uva de Pedro Ximénez. El rendimiento de extracción es muy bajo, se obtienen 29 litros de mosto dulcísimo por cada 100 kg de uva mientras que para vinos secos se obtiene 70 litros de mosto por cada 100 kg de uva. El mosto obtenido es muy aromático y de color caramelo. Se le añade una pequeña cantidad de alcohol y variable proporción de vino para reducir su excesivo dulzor. Posteriormente, se traslada a las criaderas donde alcanzan colores más oscuros y aromas más complejos.

Después de esta etapa, en la bodega anexa a nuestra planta se llevará a cabo la fermentación alcohólica para la obtención del vino Pedro Ximénez de 12,5º alcohólicos.

La calidad del Pedro Ximénez depende de varios factores, entre ellos se encuentra la zona de la que procede la uva o la edad de los alberos de los que provienen los racimos, resultando un vino más fino si se trata de plantas de más de 25 años de antigüedad. Otros factores que también influyen en la calidad del vino son el tipo de envase, la madera con que se han fabricado o las condiciones medioambientales de la bodega.

En el barril, los vinos alcanzan un color más oscuro debido a que estos van perdiendo agua, se van concentrando lentamente. Además, también van adquiriendo una serie de aromas que dependerán de la calidad de la madera. Son vinos suaves, dulces, persistentes, consumidos como vinos de postre y en la cocina para elaborar las mejores reducciones.

El vino ecológico P.X utilizado en el presente proyecto tendrá una graduación alcohólica de 12,5º y una acidez residual de 5,5% v/v.

3. Caramelo E150-d

Este colorante tiene sabor amargo y su color varía en un rango entre marrón y negro. Su origen puede ser natural o sintético, elaborado a través del secado en caliente y del quemado de azúcares en la presencia de álcalis, amoníaco, sulfuros o combinaciones de los anteriores.

Se puede diferenciar cuatro tipos diferentes de caramelos E150, dependiendo del reactivo utilizado durante su fabricación. El caramelo E150-d se elabora a partir de sulfito amónico.

El caramelo E150-d se utiliza para dar color a una gran cantidad de alimentos comerciales. La ingesta en grandes cantidades de este aditivo puede provocar problemas intestinales y disminuir la absorción de la vitamina B6. Aún así el Real Decreto 2001/1995 lo incluye en la lista de aditivos colorantes autorizados en la elaboración de productos alimenticios, especificando sus condiciones de utilización.

Además en pruebas con animales de laboratorio se han dado casos de cáncer, por lo que a largo plazo puede llegar a ser cancerígeno (<http://www.aditivos-alimentarios.com>).

4. Vinagre balsámico Pedro Ximénez

El vinagre balsámico de Pedro Ximénez se obtiene al añadir mosto P.X concentrado al vinagre de vino de esta variedad, mezclándolo a su vez con cierta cantidad de caramelo E150-d. Para la obtención de un vinagre balsámico de 6º de acidez con una concentración de azúcares de 240g/L (14ºBé) se deberá mezclar en igual proporción mosto P.X concentrado con una concentración de azúcares de 480 g/L (28ºBé) y vinagre de vino ecológico P.X de 12,3º en alcohol. El mosto concentrado y el caramelo añadido son los encargados de que se obtenga un vinagre balsámico con un contenido mínimo de azúcar total de 150 g/l, característico de este vinagre dulce.

El vinagre balsámico se caracteriza por su sabor dulzón, su coloración oscura y su textura más densa. Destaca por ser rico en antioxidantes al provenir de las uvas y tener un tiempo de fermentación y por ser rico en potasio, por lo que tiene una buena acción diurética en el organismo.

Es considerado sumamente digestivo debido a sus enzimas. Antiguamente se usaba para problemas óseos y combatir el reuma, frotando la zona dolorida con el vinagre balsámico.

Se cree que podría ayudar al organismo a quemar grasas gracias a sus propiedades diuréticas, digestivas y antioxidantes.

Su uso más común es como aderezo de ensaladas. Su combinación con aceite de oliva y mostaza de buena calidad da un buen resultado para vinagretas. También se mezcla con un poco de miel si se desea un sabor más dulzón.

El vinagre balsámico se ha convertido en los últimos años en un producto muy usado, tanto en las familias de nivel medio como aderezo de ensaladas como en los restaurantes de mayor nivel en el que su uso se destina a la decoración, para así mejorar la presentación de los platos y llamar la atención de los clientes. El aumento del consumo de este

vinagre conlleva un aumento en su producción a nivel mundial, convirtiendo a Europa en el mayor productor de vinagre balsámico.

Aunque el origen del vinagre balsámico está en la ciudad italiana de Módena, esta industria en España ha cobrado importancia por el interés de producir un vinagre balsámico que tenga características organolépticas similares a las del vinagre de Módena con un proceso de fabricación más sencillo. Esta simplificación se hará notar en el precio del vinagre balsámico final, consiguiendo que el producto esté al alcance del consumidor medio.

El vinagre balsámico de Pedro Ximénez obtenido en el presente proyecto tendrá 6º de acidez con una concentración de azúcares de 240g/L (14ºBé).

5. Crema de vinagre balsámico Pedro Ximénez

La crema de vinagre balsámico de Pedro Ximénez se obtiene al mezclar el vinagre balsámico de esta variedad con mosto concentrado y con cierta cantidad de caramelo. Para la obtención de una crema de vinagre balsámico de 3º de acidez con una concentración de azúcares de 360g/L (21ºBé) se deberá mezclar en igual proporción mosto P.X concentrado con una concentración de azúcares de 480 g/L (28ºBé) y vinagre balsámico de 6º de acidez con una concentración de azúcares de 240g/L (14ºBé). El mosto concentrado y el caramelo E150-d añadido son los encargados de dar a la crema balsámica su textura característica.

Su uso más común es como aderezo para decorar los platos mejorando sus presentaciones y a la vez añadir el sabor del vinagre balsámico ya que su densa textura le permite integrarse en las comidas sin resbalar en el plato de forma líquida.

La crema de vinagre balsámico de Pedro Ximénez obtenida en el presente Proyecto tendrá 3º de acidez y una concentración de azúcares de 360g/L (21ºBé).

CAPÍTULO 8. SISTEMAS DE CONTROL

El sistema de control en una planta industrial tiene como objetivo garantizar que la operación que se desarrolla se lleve a cabo de forma segura y estable. Alcanzar una operación segura es primordial para evitar que se produzcan accidentes que puedan afectar a los operarios o a la misma planta.

La seguridad de la planta está relacionada con el control de variables como temperatura, presiones, niveles o concentraciones para que éstas no superen unos determinados valores límite. La estabilidad de la planta requiere que en ella no se produzcan grandes oscilaciones en las variables que afectan a la operación, pudiéndose producir situaciones peligrosas o periodos de tiempo en los que se obtenga un producto final fuera de las especificaciones.

La implantación de un sistema de control conlleva una reducción de costes ya que no es necesario que el personal este supervisando en todo momento el correcto funcionamiento de la planta.

Debido a la sencillez de diseño de los depósitos de almacenamiento, los equipos a los que se les va a instalar un sistema de control son el fermentador y el mezclador 1.

El sistema de control del fermentador deberá alcanzar los siguientes objetivos.

- Mantener la **temperatura** del medio fermentativo en un valor determinado.
- Al trabajar en discontinuo, no será necesario controlar el nivel en el momento de la carga del fermentador para evitar que rebose o para evitar que el serpentín quede al descubierto. Esto se conseguirá abriendo y cerrando manualmente las válvulas correspondientes para asegurar que el nivel sea el deseado. El control del **nivel** está referido al momento de descarga cuando acaba el ciclo fermentativo, para que se descargue automáticamente el 85% del volumen útil del fermentador.

La acidez de los productos se controla a través de tomas de muestra y análisis químicos para evitar los problemas que conlleva estos sensores.

En cuanto al sistema de control del mezclador 1, el objetivo a alcanzar será el siguiente:

- Será necesario controlar el **nivel** en el momento de la descarga. Cuando finalice la mezcla, se descargará un 15% de su volumen útil y se dirigirá hacia el mezclador 2. El 85% restante se descargará hacia el tanque de almacenamiento de vinagre balsámico.

1. Control de la temperatura en el fermentador

La temperatura es una variable muy importante en los procesos biológicos porque controla la velocidad de reacción, influye en la solubilidad de los compuestos, afecta a las difusividades, etc.

Existe una temperatura por debajo de la cual se considera imposible el crecimiento de los microorganismos, un intervalo de temperatura donde este crecimiento es óptimo y una temperatura donde se alcanza el máximo crecimiento por encima de la cual se produce la desactivación bacteriana.

Para el caso de las bacterias *Acetobacter aceti*, la temperatura mínima para que sea posible el crecimiento microbiano es de 8°C, mientras que la temperatura máxima por encima de la cual el crecimiento está inhibido es 35°C. Una temperatura de 30,9°C es el valor donde se alcanza un máximo la velocidad específica de crecimiento y, por lo tanto, esta es la temperatura óptima de crecimiento (de Ory, I. y col, 1997a).

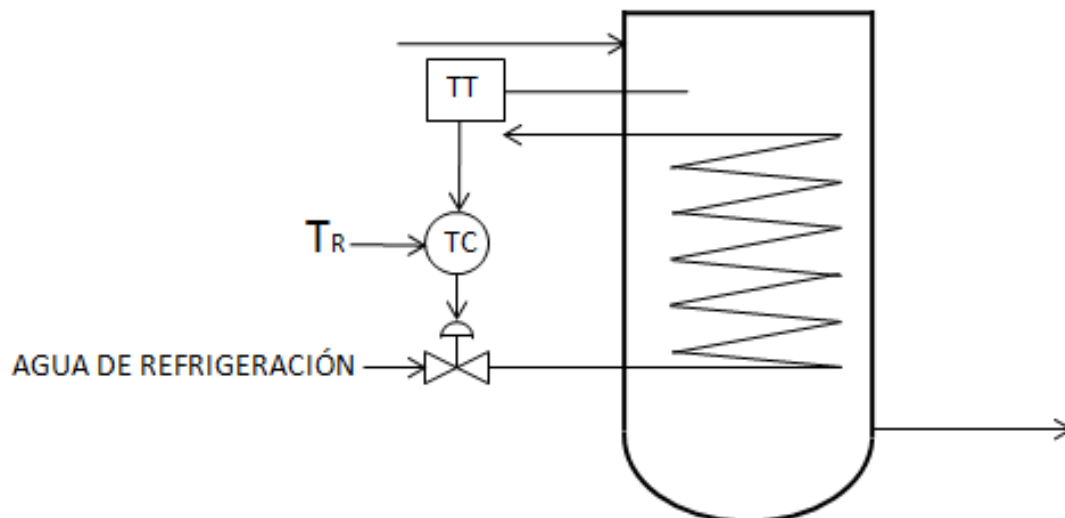
El control de la temperatura en el medio fermentativo se llevará a cabo con un sistema de lazo de control simple que actuará sobre una válvula de control. Dado que la reacción de fermentación acética es exotérmica, cuando en cada ciclo se supere la fase de latencia, los microorganismos crecerán exponencialmente y generarán calor de reacción. De manera natural, la fermentación producirá una temperatura en el depósito que superará la denominada temperatura de consigna (aquella que hace máximo el crecimiento y, por tanto, la producción). Cuando la temperatura supera la deseada, la válvula de control regulará el caudal de agua de refrigeración que circula por el interior del

serpentín. Por lo tanto, la variable del proceso será la temperatura del medio fermentativo, la variable a manipular será el caudal de agua de refrigeración que circula por el interior del serpentín y la variable de perturbación será la temperatura de entrada del agua, que variará entre 15 y 25°C, dependiendo de la estación del año.

El lazo de control simple constará de:

- Una termoresistencia, marca RS, modelo Labfacility o similar. Concretamente se usará una Pt100 de 4 hilos, en una sonda de acero inoxidable de 6 mm de diámetro y 250 mm de longitud. Tiene una precisión de $\pm 0,06^{\circ}\text{C}$ a 0°C , una longitud de detección de 25 mm, una longitud de inmersión de 150 mm y tiene un rango de medida que va desde -50°C a 250°C .
- Controlador de temperatura, marca West, serie 6100 o similar, con salida 4/20 mA.
- Un actuador. Electroválvula de tipo ON/OFF, marca Norgren, modelo 8273 o similar.

El lazo de control será el siguiente:



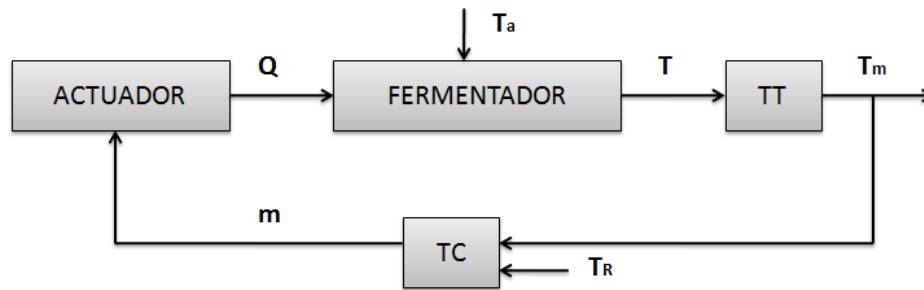


FIG V.1: Lazo de control de temperatura en el fermentador

Donde:

- Q es el caudal de entrada del agua de refrigeración (variable manipulada).
- T_a es la temperatura del agua de refrigeración (variable de perturbación).
- T es la temperatura del medio fermentativo (variable a controlar).
- TT es el sensor-transmisor de temperatura.
- T_m es la temperatura medida por el sensor.
- T_R es la temperatura de referencia (Punto de consigna).
- TC es el controlador de temperatura.
- m es la señal enviada por el controlador al actuador que regula el caudal de entrada del agua de refrigeración.

Para el control de la temperatura, se recomienda fijar el punto de consigna en 31°C. Cuando la temperatura del medio supera este punto debido al calor generado en la reacción, se actuaría sobre la válvula para que permita el paso del agua de refrigeración. Por debajo del punto de consigna, el caudal de refrigeración está cerrado.

Como es lógico, en la fase de arranque de cada ciclo fermentativo, cuando se mezcla un 15% del contenido del ciclo anterior a 31°C con un 85% de vino fresco a su temperatura de almacenamiento (aproximadamente 19°C), el contenido del reactor estará a una temperatura muy por debajo del punto de consigna, que es la temperatura ideal de crecimiento. En esta fase y hasta que la propia fermentación exotérmica caliente el contenido, sería beneficioso proporcionarle al reactor un cierto calor externo. Basta en muchos casos adherir al recipiente una cinta con una resistencia que aporte puntualmente el calor requerido para que la fermentación se dispare.

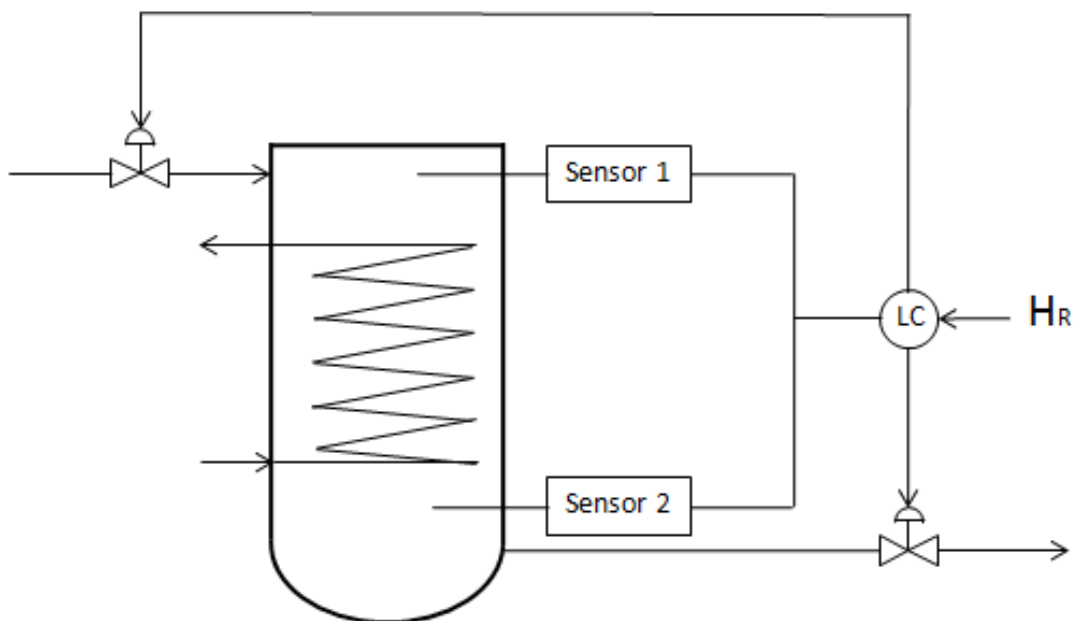
2. Control del nivel en el fermentador

Cuando en el fermentador, el contenido alcanza los 12,3° de acidez, se deberá desalojar el 85 % del volumen útil del fermentador. En este momento se pone en funcionamiento el caudal de alimentación de vino procedente del depósito de almacenamiento para completar el volumen total del reactor, hasta que se interrumpe su circulación cuando se alcance el nivel máximo fijado. De este modo cuando se completa la carga de vino, la mezcla del fermentador volverá a estar a 3° de acidez y un grado alcohólico de 2% vol. y comenzará así un nuevo ciclo fermentativo.

El lazo de control para controlar el nivel en el fermentador también es de lazo sencillo y constará de:

- Dos sensores magnéticos de nivel, marca Salvador Escoda, modelo CN 01-264.
- Controlador de nivel de fluido, marca Cole Parmer, modelo LC40-1001
- Dos actuadores. Electroválvulas ON/OFF, marca Norgren, modelo 8273 o similar.

El lazo de control de nivel sería el siguiente:



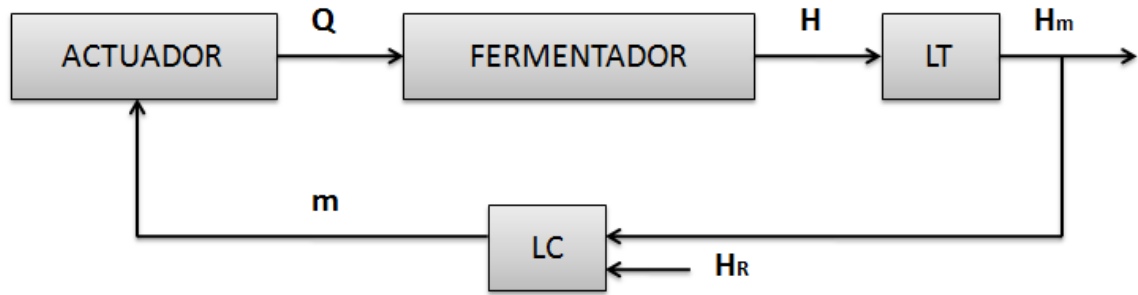


FIG V.2: Lazo de control de nivel en el fermentador

Donde:

- Q es el caudal de vino a la entrada de fermentador (variable manipulada).
- N es el nivel en el interior del fermentador (variable a controlar).
- LT es el sensor de nivel instalado en el interior del fermentador.
- H_m es el nivel medido en el fermentador.
- H_R es el nivel fijado (Punto de consigna).
- LC es el controlador de nivel.
- m señal de nivel enviada por el controlador a la electroválvula.

Cuando la mezcla del fermentador alcanza los 12,3º de acidez, se acciona la bomba de descarga de fermentador hasta que se desaloje el 85% de su volumen útil. En ese momento en el interior de fermentador quedará el 15% restante por lo que el nivel quedará a una altura de 0,21 metros; señal que será detectada por un sensor instalado a esta altura. Esta señal será enviada al controlador y éste detendrá la bomba de descarga y accionará la bomba de alimentación de vino fresco procedente del depósito de almacenamiento. Esta bomba se detendrá cuando se llene el 100% del volumen útil del fermentador, es decir cuando su nivel alcance una altura de 1,39 metros; señal que de igual forma será detectada por otro sensor instalado a esa altura. Nuevamente esta señal será enviada al controlador y se detendrá dicha bomba. En estos momentos comenzará un nuevo ciclo fermentativo.

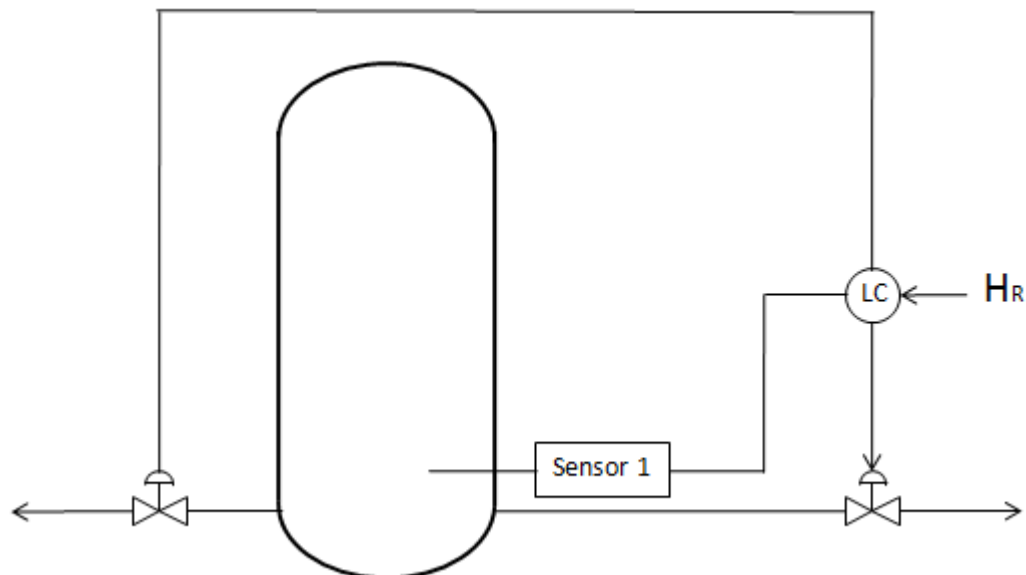
3. Control del nivel en el mezclador 1

Cuando en el interior del mezclador 1 se alcance los 6° de acidez, se deberá llevar a cabo la descarga del equipo. Se descargará el 85% de esta mezcla y se dirigirá hacia el depósito de almacenamiento de vinagre balsámico para destinarlo al consumo. Por otro lado, se descargará el 15% restante y se dirigirá hacia el mezclador 2 para la obtención de crema de vinagre balsámico.

El lazo de control para controlar el nivel en el fermentador también es de lazo sencillo y constará de:

- Un sensor magnético de nivel, marca Salvador Escoda, modelo CN 01-264.
- Controlador de nivel de fluido, marca Cole Parmer, modelo LC40-1001
- Dos actuadores. Electroválvulas ON/OFF, marca Norgren, modelo 8273 o similar.

El lazo de control de nivel sería el siguiente:



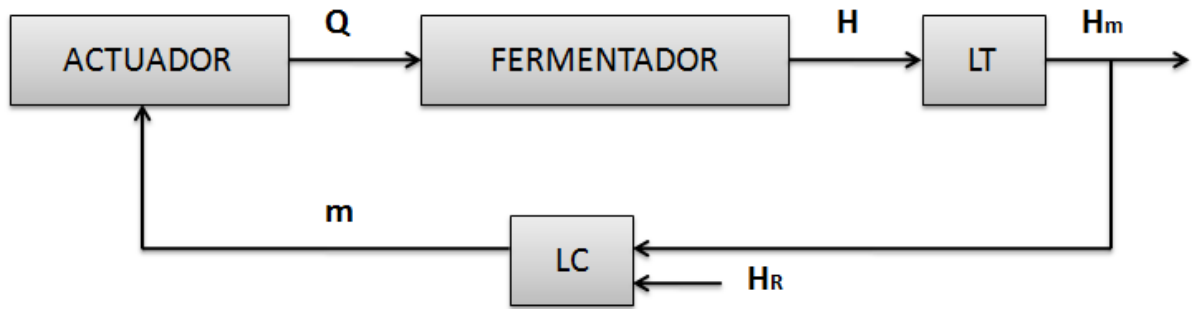


FIG V.3: Lazo de control del mezclador 1

Donde:

- Q es el caudal de vino a la entrada de fermentador (variable manipulada).
- N es el nivel en el interior del fermentador (variable a controlar).
- LT es el sensor de nivel instalado en el interior del fermentador.
- H_m es el nivel medido en el fermentador.
- H_R es el nivel fijado (Punto de consigna).
- LC es el controlador de nivel.
- m señal de nivel enviada por el controlador a la electroválvula.

Cuando en el interior del mezclador 1 se alcanza los 6º de acidez, se acciona una bomba de descarga del mezclador 1, la cual dirigirá el 85% de la mezcla al depósito de almacenamiento de vinagre balsámico. En ese momento el nivel de la mezcla quedará a una altura de 0,25 metros, señal que será detectada por un sensor instalado a esa altura. Dicha señal se enviará al actuador para que se detenga el funcionamiento de esa bomba y se accione la otra bomba de descarga, la cual dirigirá el volumen restante de la mezcla hacia el mezclador 2.

En este momento el mezclador 1 quedará vacío y manualmente se abrirán las válvulas de alimentación para empezar otro ciclo nuevo de mezclado.

CAPÍTULO 9. PROTOCOLO DE LLENADO Y OPERACIÓN DEL FERMENTADOR ACÉTICO

1. Primer ciclo fermentativo

Como se ha indicado con anterioridad, la producción de vinagre de vino P.X. que sirve de base a nuestros productos finales (vinagres y cremas balsámicos) se lleva a cabo en discontinuo, por ciclos o tandas. En el esquema de trabajo diseñado se prevé la realización de 116 ciclos continuados al año, con 2 paradas de mantenimiento, para que se cumplan los objetivos productivos establecidos. Tras cada parada de mantenimiento habrá que realizar un primer ciclo fermentativo completo; es decir, un ciclo que partiendo de un inóculo-madre (un recipiente pequeño, de 50 L., con vinagre conteniendo la especie bacteriana seleccionada, aireado y mantenido mediante adiciones puntuales de sustrato) y en sucesivas cargas de medio fermentativo (vino fresco de P.X.) lleve a una situación final en la que dispongamos del total de volumen de trabajo del fermentador, en fase exponencial de crecimiento de los microorganismos, crecidos masivamente y en las condiciones de alcohol y acidez para que se comience con el proceso normal. En sucesivas tandas, ya se parte de un 15% del contenido de vinagre del tanque anterior y se repone con un 85% de vino fresco, de forma que siempre se cuenta con un pie de cuba inicial para la adecuada fermentación.

Haciendo uso de métodos analíticos bien establecidos, se llevarán a cabo una serie de análisis previos sobre el vino (sustrato fermentativo) e inóculo (carga biológica), para garantizar que se encuentran dentro de las condiciones de partida establecidas en el diseño de nuestra planta. Es muy importante comprobar los grados alcohólico y acético del sustrato, así como comprobar el estado microbiológico de las células conservadas para contar con garantías de su potencial fermentativo.

El siguiente paso es, a partir de un pequeño inóculo, llevar el medio fermentativo hasta el volumen final en condiciones óptimas de viabilidad, es decir, con la biomasa en fase exponencial de su crecimiento (de Ory, I. y col, 1999). La justificación de esta forma de proceder se encuentra en la imposibilidad práctica con la que se encuentra la industria del sector de contar con grandes cantidades de un

pie de cuba en buen estado, sin que repercuta negativamente en la pérdida de una parte de la producción. Así pues, se hace obligado partir de cantidades discretas de inóculo e ir aumentando su volumen en diferentes etapas de llenado o arranque. El requerimiento de que la biomasa durante estas operaciones esté en todo momento en un buen estado de viabilidad se hace esencial, puesto que si el medio llega al volumen final de trabajo con las bacterias en cualquier otro estadio (latencia o, en el otro extremo, muerte celular masiva) peligra el rendimiento de los posteriores ciclos de fermentación. Así, un experimento que llegara al volumen final útil del reactor ($1,25 \text{ m}^3$) con una biomasa bacteriana en fase de latencia, tendría que superar previamente esta fase de no-crecimiento antes de empezar a producir, lo que aumentaría los tiempos de operación y, por tanto, el coste. De igual manera, si el cultivo parte de una fase de muerte generalizada, será lenta y costosa su recuperación hasta un estado de máxima productividad.

Así pues, se debe optimizar un protocolo de inoculación y crecimiento hasta el volumen final deseado, que sea lo más rápido posible y que garantice en todo momento que la carga celular se encuentra en estado de crecimiento exponencial. En este sentido, a la hora de aplicar los protocolos recogidos en la bibliografía, es necesario tener muy en cuenta las consideraciones sobre rangos óptimos de crecimiento de *Acetobacter aceti*.

Este inóculo, puede ser un medio fermentativo natural de concentración de etanol comprendida entre 3 y 4%v.v. (23-32 g/L), concentración de ácido acético en torno a 4° (40 g/L) y biomasa en fase exponencial de crecimiento. En las operaciones de trasiego y siembra de este cultivo en el fermentador, se deberá asegurar en todo momento la continuidad de la aireación suministrada, de modo que no se produzca reducción de viabilidad.

El procedimiento a seguir será el siguiente: se introducen 40 L de este inóculo-madre en el reactor de fermentación e inmediatamente se mezclan con 40 L de vino fresco procedente del depósito de alimentación (etanol 13%v.v.; ácido acético en torno a 0 g/L). A continuación, se pone en funcionamiento la soplante de aireación y agitación interna. Del mismo modo, se conecta la cinta calefactora

portátil alrededor de la base del reactor. En este momento se dispone de una mezcla de 80 L de medio fermentativo, con una concentración de etanol en torno al 6,5%v.v. y una concentración de ácido acético de 2-3°. Lógicamente, su concentración bacteriana se habrá reducido a la mitad, pero dado que se encuentra en fase de crecimiento y que la concentración de tóxicos (tanto alcohol como ácidos) es moderada, su recuperación comienza instantáneamente. De este modo, la fase de aclimatación del cultivo a las nuevas condiciones del medio se minimiza considerablemente. En estas condiciones, se ha de esperar un desarrollo rápido de la fermentación, con consumo progresivo del etanol de partida y producción de ácido acético.

Cuando, transcurrido un tiempo (horas) el medio líquido alcanza una concentración en ácido acético de entre 3,5 y 4° (aproximadamente 5%v.v. en alcohol), el crecimiento de las bacterias se acelera. En ese momento se procede de nuevo a añadir otros 70 L de vino fresco, hasta un total de 150 L. La acidez de la mezcla se suaviza y la concentración de alcohol sube. De nuevo, tras horas de fermentación el medio volverá a alcanzar las concentraciones adecuadas para realizar la siguiente escala de llenado, duplicando sucesivamente el volumen hasta alcanzar el volumen final del reactor en 3 o 4 días.

En la siguiente imagen se recoge un esquema sobre cómo llevar a cabo el protocolo de llenado en la primera fase de arranque, partiendo de 50 litros de inóculo cuidadosamente controlado en el laboratorio hasta completar los 1250 litros de medio fermentativo en fase exponencial de crecimiento.

DISEÑO DE UNA LINEA DE PRODUCCIÓN DE VINAGRES BALSÁMICOS DE PEDRO XIMÉNEZ Y DERIVADOS

Jenifer Tirve Valencia

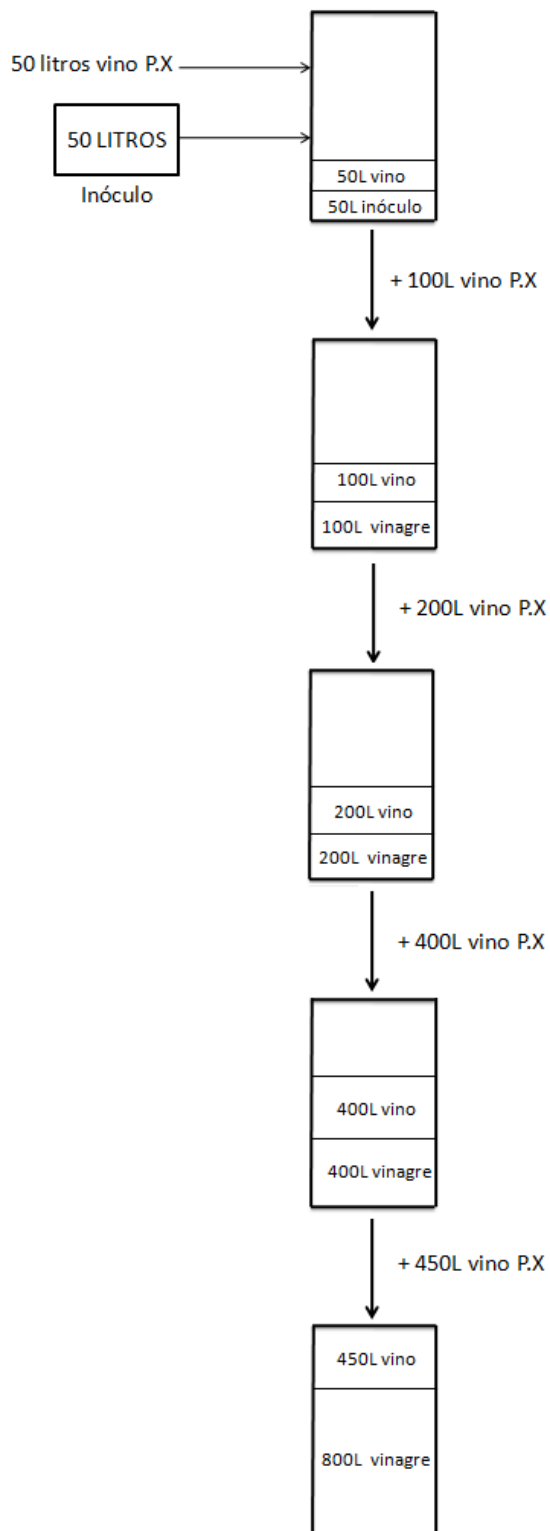


FIG VI: Esquema del protocolo de llenado del fermentador

2. Sucesivas etapa:

La segunda y sucesivas etapa comienzan desalojando del reactor el 85% de su contenido ($1,06 \text{ m}^3$ de vinagre de vino en sus condiciones finales; $12-12,5^\circ$ de acidez y $0,5\% \text{v.v.}$ de alcohol) y añadiendo vino joven procedente del depósito de almacenamiento para completar el volumen desalojado en la descarga, otros $1,06 \text{ m}^3$ de vino. Una vez que se añade el vino, la mezcla tendrá $1,82^\circ$ acéticos y unos $11\% \text{v.v.}$ de alcohol. De este modo el ciclo fermentativo durará menos que el ciclo de arranque, ya que se ha partido de un pie de cuba abundante (190L. de inóculo en fase exponencial de crecimiento).

Esta fermentación hasta los $12,5^\circ$ acético finales durará unos 3 días en lugar de los 4 días del arranque. Esta estimación se basa en los datos experimentales de velocidad de acetificación experimental recogidos en la bibliografía para sistemas similares al propuesto. Según estos, la velocidad promedio de acetificación a partir del segundo ciclo estará en torno a $0,15^\circ/\text{h.}$ (ref. proyecto de Gema Quiñones). Obviamente, este es un valor promedio, dado que la velocidad de producción es variable en función de las distintas etapas metabólicas por las que va pasando el cultivo discontinuo (latencia y exponencial).

Esta será la forma de operar de aquí en adelante, trabajando en discontinuo, parando el funcionamiento de la planta después de cada ciclo fermentativo y cuando haya que llevar a cabo el mantenimiento y limpieza de la misma.

CAPÍTULO 10. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

1. Mantenimiento en parada y automantenimiento.

El mantenimiento del sistema debe ser considerado como un factor económico y global de la empresa. Este mantenimiento corresponde al conjunto de técnicas que permiten mantener los equipos e instalaciones en perfectas condiciones de trabajo para que se alcance el objetivo de máxima productividad de la planta.

Para llevar a cabo las operaciones de mantenimiento satisfactoriamente, éste debe ser planificado al detalle, para así evitar al máximo todo tipo de improvisaciones que puedan perjudicar al correcto funcionamiento de la planta. Debe existir un equipo técnico de mantenimiento especializado con funciones asignadas, que proporcione asistencia a los operarios de mantenimiento, gestione la documentación técnica de los equipos y evalúe los resultados y costes de mantenimiento mediante índices de referencia.

Los equipos que forman la planta y por lo tanto los equipos objetos de las labores de mantenimiento son los siguientes:

- Fermentador.
- Cinco depósitos de almacenamiento.
- Evaporador.
- Dos mezcladores.
- Antiespumante
- Generador de oxígeno y sistema de aireación.
- Serpentín del fermentador.
- Equipos de impulsión (bombas).
- Red de conducciones.
- Sensores (temperatura y nivel).
- Controladores.
- Sistema de alarmas.

Las labores de mantenimiento y limpieza de los equipos se llevan a cabo dos veces al año, en periodos de 7 días. Este mantenimiento en parada será realizado por los técnicos de mantenimiento y consiste en:

- Pruebas de estanqueidad de los tanques.
- Limpieza de los tanques y de sus accesorios.

- Pruebas de funcionamiento del sistema de alarmas.
- Cambio de las conducciones.
- Revisión de los equipos de impulsión.
- Revisión de los controladores.
- Mantenimiento de la bomba de aire

Aparte de este mantenimiento en parada, la planta será sometida a lo que se denomina un automantenimiento que será realizado por el operario encargado de la planta. Este automantenimiento consiste en:

- Inspección visual de todos los equipos.
- Comprobación del nivel en el fermentador, evaporador, mezcladores y en todos los tanques de almacenamiento.
- Inspección del correcto funcionamiento del sistema de aireación.
- Inspección visual de las conducciones. Comprobación de que no existan fugas ni en ellas ni en las conexiones con otros equipos.
- Toma de muestras en distintos puntos del sistema. Permite comprobar si los productos obtenidos tienen las características deseadas.
- Comprobación visual de la temperatura del medio.
- Abastecimiento de materias primas.
- Evacuación de productos.

Para asegurar que el operario no se olvide de realizar ninguna de sus funciones, la planta dispondrá de un panel que recoja la siguiente documentación:

- Diagrama de flujo del proceso.
- Hoja de arranque y parada. En ella se explica el proceso de inoculación y arranque de la fermentación y la parada del proceso.
- Hojas de procedimientos. En ellas quedan recogidas paso a paso todas las inspecciones que debe realizar diariamente el operario de planta. El operario también podrá saber con ayuda de estas hojas el procedimiento a llevar a cabo para la gestión de los residuos.
- Hoja de toma de muestras. En ella anotará la hora en la que la muestra ha sido tomada, el punto del sistema donde se realiza, el resultado de la misma y el operario que la realiza.

- Hoja de mantenimiento. En ella el operario anotará pequeñas incidencias que haya podido encontrar sobre su revisión. Esta hoja será revisada diariamente por el equipo de mantenimiento por si hubiese que reparar algo. Si el operario se encontrase sobre su revisión con incidencias importantes que pudieran perjudicar al producto de la planta o a los equipos, deberá informar inmediatamente al equipo de mantenimiento.
- Ayudas visuales para ayudar al operario ante cualquier duda.

Esta documentación será muy útil para permitir que un nuevo operario pueda realizar esta labor de automantenimiento en caso de que el operario encargado de la planta no se encontrase en ella.

Antes de la puesta en marcha de la instalación, el ingeniero Químico encargado de la planta debe reunirse con el jefe de mantenimiento y con el operario para estudiar esta documentación. Además, como prueba de que están de acuerdo con el procedimiento a seguir en la planta, todos deben firmar esta documentación.

Esta documentación debe ser revisada periódicamente por el Ingeniero y puede ser modificada y actualizada según las variaciones que se vayan produciendo en la planta.

2. Régimen laboral

La automatización del proceso facilita la fermentación, minimiza las improvisaciones y permite que el número de operarios en la planta no sea excesivo.

Las actividades que constituyen el automantenimiento pueden ser realizadas por el operario de la planta y se estima que tarde alrededor de una hora en llevarlas a cabo. Este tiempo se verá incrementado los días que tenga que hacer frente al abastecimiento de materias primas o a la evacuación de los productos.

Al trabajar en discontinuo por ciclos, la planta se pondrá en marcha y estará funcionando durante 175 días. Fijando los periodos de mantenimiento a principios de enero y a principios de julio, estos 175 días corresponderán a los seis meses de funcionamiento que tendrá la

planta después de la parada de mantenimiento. Durante estos meses, el operario tendrá que realizar las labores de automantenimiento dos veces al día, una al comienzo del día para comprobar que la planta ha funcionado correctamente durante la noche y otra al finalizar el día para comprobar que la planta ha funcionado correctamente durante el día. Además deberá coger 4 muestras al día, dos durante la mañana y dos durante la tarde, en distintos puntos del sistema para así poder controlar las características de los productos.

El hecho de que esta planta esté situada próxima a una bodega, permite que se pueda utilizar los laboratorios de la bodega para analizar las diferentes muestras que se toman en la planta. Este hecho conlleva numerosas ventajas. El análisis de muestras se realiza de forma rápida e inmediata después de la toma de muestras, esto permite que se puedan tomar rápidamente decisiones si algo no fuera como es debido. Al utilizar los laboratorios de la bodega, supone un ahorro al no tener que comprar nuevos materiales y equipos con los que llevar a cabo el análisis de las muestras. Los operarios de la bodega son los encargados de realizar la toma de muestras en la planta y de analizarlas y también de llevar a cabo el mantenimiento de la planta. Esto se traduce en un ahorro económico al no tener que contratar a nadie para controlar la planta. El personal de la bodega también llevará a cabo el sistema APPCC.

Sin embargo es necesario que este personal reciba una formación previa para que puedan realizar su trabajo correctamente y colaboren a que la planta piloto alcance su máxima producción. Esta formación será sobre el funcionamiento de la planta, el mantenimiento de los equipos, como actuar y a quien avisar ante cualquier fallo de la planta, aspectos relacionados sobre seguridad e higiene y la importancia que tiene conseguir la calidad requerida de los productos.

En la siguiente tabla se recoge que análisis será necesario llevar a cabo en cada equipo y con qué periodicidad.

EQUIPO	ANÁLISIS	PERIODICIDAD
Inóculo	Recuento de células totales	Una vez al día.
Inóculo	Recuento de células viables	Al comienzo de cada ciclo, dos veces al año.
Fermentador	<ul style="list-style-type: none"> - Etanol - Ácido acético - Temperatura - Oxígeno disuelto 	Dos veces al día.
Depósito de almacenamiento de vino	<ul style="list-style-type: none"> - Etanol - Acidez 	Cuando la planta recibe la carga de vino P.X.
Depósito de almacenamiento de mosto	<ul style="list-style-type: none"> - Azúcar 	Cuando la planta recibe la carga de mosto P.X.
Depósito de almacenamiento de vinagre balsámico	<ul style="list-style-type: none"> - Pruebas organolépticas - Acidez 	Antes de destinar el producto al consumo.
Depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico.	<ul style="list-style-type: none"> - Pruebas organolépticas - Acidez 	Antes de destinar el producto al consumo.

TABLA I: Análisis de cada equipo

CAPÍTULO 11. ANÁLISIS DE PELIGRO Y PUNTOS DE CONTROL CRÍTICO (APPCC).

1. Introducción

En cualquier empresa es necesario implantar un sistema de calidad por numerosas razones. En la industria agroalimentaria la calidad se hace aún más importante como sistema de gestión. Estas empresas deben implantar unos rigurosos controles de calidad que garanticen que sus productos agroalimentarios alcanzan las condiciones higiénico-sanitarias establecidas por la normativa. La Unión Europea ha trabajado para normalizar los criterios de higiene sanitaria. El Real Decreto 2207/95 obliga a que las empresas establezcan un sistema de análisis de peligro y puntos de control crítico (APPCC) que garantice las condiciones higiénico-sanitarias de los alimentos que son destinados al consumo y además recomienda que este APPCC esté integrado en los sistemas más globales de gestión de calidad total como la ISO 9000.

Actualmente, en España, la calidad mínima es la higiénico-sanitaria. La legislación europea obliga a todas las empresas alimentarias a controlar la calidad higiénico-sanitaria de sus productos, especificándose que tendrá que basarse en el sistema de APPCC.

El sistema APPCC obliga a controlar los productos y los procesos desarrollados en la empresa, contempla riesgos físicos, químicos y microbiológicos y se lleva a cabo un autocontrol y una vigilancia analítica.

El sistema APPCC aporta a la empresa numerosos beneficios. La prioridad máxima será mantener la seguridad de los alimentos. Además, se planifica la forma de evitar errores, antes de intentar solucionarlos cuando ya hayan ocurrido. Con un programa de Autocontrol Sanitario basado en APPCC se mejora la calidad de los productos, se obtienen productos más sanos y seguros, satisfaciendo mejor al consumidor y creando una mejor imagen para la empresa. Por si fuera poco, los costes serán reducidos al disminuir el número de análisis, y las pérdidas en los productos finales serán también reducidas puesto que al planificar la forma de evitar errores, existirán menos causas que provoquen alteraciones en los productos.

Por todo ello, se llega a la conclusión de que si este sistema está bien gestionado, no solo garantiza unos productos alimentarios más sanos y seguros sino que además proporciona un beneficio económico neto para la empresa.

Para que la implantación del sistema APPCC se lleve a cabo de forma correcta y sea eficaz, se deberá seguir los siguientes pasos para así conseguir que la implantación del sistema sea ordenada y lógica.

- I. Diagnóstico inicial del APPCC en la industria: Se deberá estudiar los productos generados por la industria, definir la parte de la cadena agroalimentaria en la que se encuentra nuestra empresa. Las infraestructuras y equipos con los que se trabaja y el entorno de la misma
- II. Establecimiento de Puntos Críticos de Control General: Se define como Punto Crítico aquel en el que se aplica una medida de control para que un peligro sea evitado o reducido hasta un nivel aceptable. Un Punto Crítico de Control General será entendido como aquellos puntos que afectan a la mayoría de las fases de producción. Dentro de estos, se deben considerar los siguientes:
 - a. Agua potable. Se debe tener en cuenta su origen, el uso que se le va a dar y su destino una vez haya sido utilizada.
 - b. Limpieza y desinfección. Estos métodos deberán estar estandarizados y recogidos por escrito. Además se utilizará el Plan de Limpieza y Desinfección para comprobar la efectividad del método usado por la empresa.
 - c. Desinsectación-desratización. Hace referencia a las medidas adoptadas para evitar la presencia de insectos y roedores en la planta. También incluye las forma de actuar una vez estén presentes.

- d. Estudio de las instalaciones. Los equipos serán sometidos a un estudio que contemple su idoneidad e inocuidad, teniendo en cuenta el uso al que están destinados.
 - e. Transporte. Los medios de transportes de las materias primas y productos finales deberán ser adecuados.
 - f. Higiene personal. Los manipuladores serán formados correctamente siguiendo la legislación vigente.
- III. Creación del plan APPCC: Este plan es un documento redactado conforme con los análisis de peligros y puntos críticos de la planta. El correcto cumplimiento de este plan asegura el control de los peligros que resultan significativos para la seguridad de los productos alimenticios.

2. El plan APPCC

El plan APPCC es la parte del documento del Sistema de Autocontrol donde queda reflejado el estudio y aplicación del Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos, siempre de acuerdo con los principios y métodos propuestos por el Codex Alimentarius. Está constituido por los siguientes puntos desarrollados a continuación.

2.1. Diagrama de flujo del proceso

El diagrama de flujo es una representación de las fases que están implicadas en el proceso, desde el almacenamiento de las materias primas hasta el almacenamiento de los productos obtenidos. Este diagrama proporciona una descripción simple y clara de la forma en que se obtienen los productos objetos del proyecto.

En el siguiente diagrama, aparece secuenciadas todas las entradas y salidas de materiales, así como los tratamientos tecnológicos para la elaboración y seguridad de los productos obtenidos

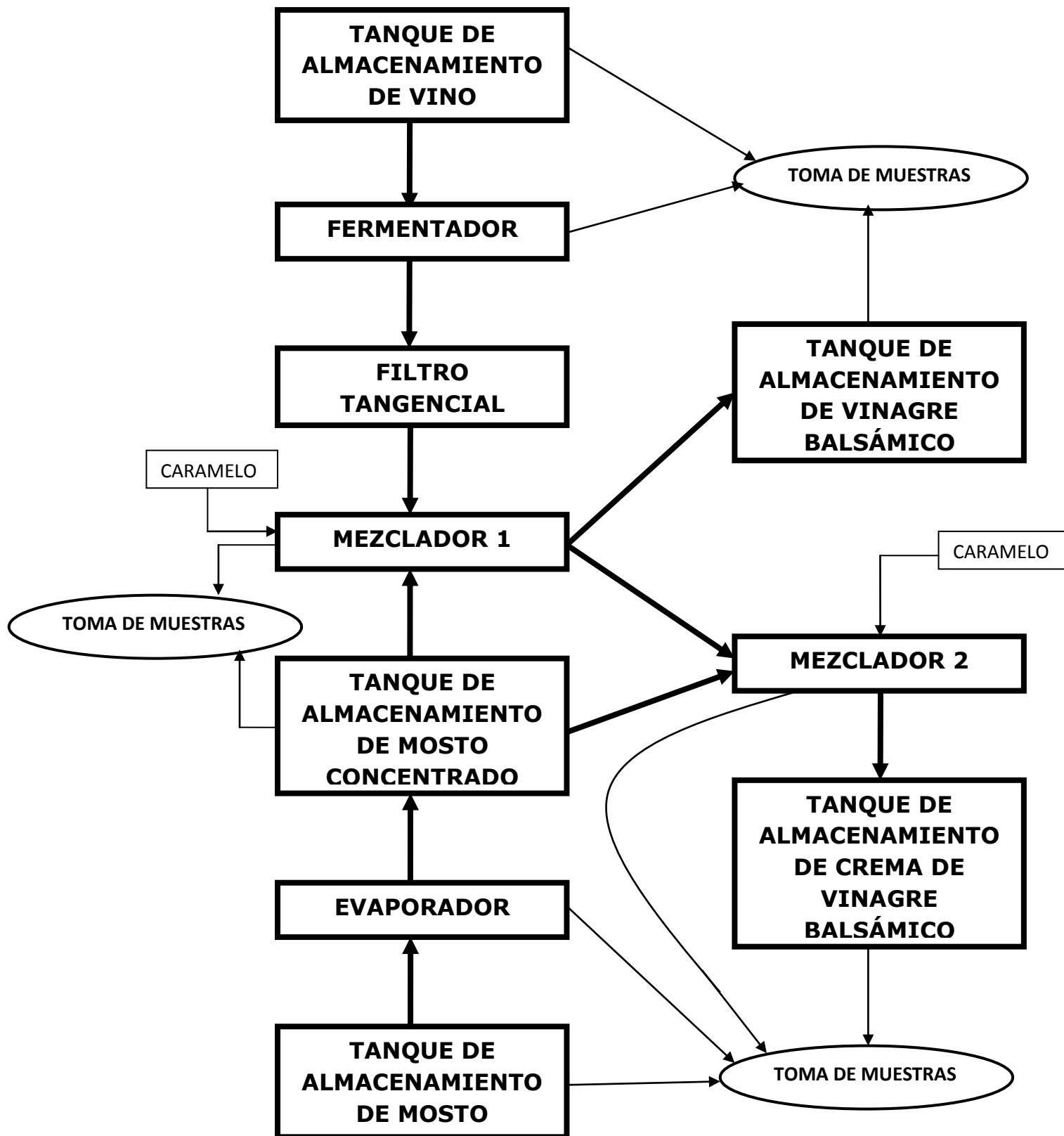


FIG VII.1: Diagrama de flujo del proceso

2.2. Análisis de peligros y medidas preventivas

En la planta existen algunos puntos los cuales se identifica como peligrosos y que pueden afectar a la seguridad de las materias primas y productos desde el punto de vista físico, químico y microbiológico. Estos puntos deben de ser analizados y además, deben implantarse unas medidas preventivas para intentar evitar o minimizar dichos peligros.

Los peligros más importantes en el presente proyecto serán los físicos y los químicos. Los peligros microbiológicos en este caso serán escasos dadas las características del vinagre balsámico y crema de vinagre balsámico (acidez y graduación alcohólica). En otras industrias alimentarias que impliquen otros productos, estos peligros si tendrán más importancia.

En el presente proyecto se identifican los siguientes puntos de peligros:

- En la recepción de materias primas la higiene es muy importante. En este punto puede darse peligros de manipulación deficientes si la higiene en bombas, grifos y mangueras no es suficiente.
- Los productos utilizados en la desinfección y limpieza de los equipos de la planta pueden provocar peligros si no se eliminan adecuadamente.
- En el interior del fermentador, del sistema de filtración y en los mezcladores, los peligros pueden ser debidos a la suciedad que pueda quedarse acumulada en los accesorios de estos equipos. Esta suciedad puede provocar cambios en las características organolépticas de los productos del presente Proyecto.
- En el fermentador además pueden darse peligros importantes si los sistemas de control no funcionan correctamente. Si la temperatura en el interior del fermentador alcanza los 35°C el crecimiento bacteriano quedará inhibido y la fermentación no se llevará a cabo

correctamente. Por otra parte, si el control del nivel no funciona correctamente a la hora de la descarga, la concentración del inóculo se verá modificada y por lo tanto la duración del ciclo fermentativo.

2.3. Determinación de los puntos de control críticos específicos

Consiste en determinar los puntos en los que debe aplicarse un control adecuado para evitar o reducir a niveles aceptables ciertos peligros que pueden afectar a la seguridad del producto. La implantación del plan APPCC se haría demasiado compleja si se considera cada etapa como un punto de control crítico específico (PCC_e). Los PCC_e serán todos aquellos que se identifican dentro de una fase de producción determinada.

Para determinar los PCC_e del sistema se utiliza un árbol de decisiones consistentes en cuatro preguntas que han sido contestadas mediante un sí o un no.

La valoración de un peligro se realiza en función de dos variables; el riesgo y la gravedad. El riesgo está relacionado con la probabilidad de que ocurra dicho peligro mientras que la gravedad está relacionada con las consecuencias que produciría dicho peligro. Ambas variables son importantes a la hora de determinar si las etapas son consideradas como PCC_e o no.

Al final de este apartado se muestra el árbol de decisiones para determinar si los siguientes puntos desarrollados a continuación son PCC_e del sistema o no.

- Recepción de materias primas

En esta etapa los principales peligros que puedan ser ocasionados son los debidos por la suciedad acumulada en bombas y conducciones y al mal funcionamiento de la bomba. El Plan de Limpieza y Desinfección y el Plan de Mantenimiento de Instalaciones y Equipos serán las medidas preventivas

aplicadas en este caso para evitar o disminuir el peligro. Esta etapa no se considera PCCe.

- Fermentación

Al trabajar en discontinuo, durante la fermentación acética solo habrá que llevar un control de la temperatura. El momento de la descarga también será controlado para desalojar el 85% del volumen útil del fermentador. Estos controles se llevarán a cabo mediante sensores a través de un sistema automatizado, por lo que habrá que seguir el Plan de Mantenimiento de Instalaciones y Equipos para que se lleve a cabo de forma correcta y satisfactoria. Además el funcionamiento del fermentador se verá afectado por la suciedad que pueda quedar acumulada en los accesorios y equipos instalados en su interior por lo que habrá que cumplir el Plan de Limpieza y Desinfección para evitarlo. Esta etapa no va a constituir un PCCe del sistema.

- Filtración

En el sistema de filtración se deberá tener en cuenta los materiales aptos para procesos en los que los productos implicados son alimentos así como la adecuada limpieza del equipo y sus accesorios. Esta etapa no se considera PCCe del sistema.

- Mezclas

Las operaciones de mezcla pueden verse afectadas por la suciedad que pueda quedar acumulada en el agitador instalado en su interior y por los restos de los productos químicos utilizados en la limpieza. Por ambas razones, habrá que cumplir el Plan de Limpieza y Desinfección para evitarlo. Esta etapa no va a constituir un PCCe del sistema.

- Almacenamiento de productos

El almacenamiento de los productos obtenidos en la planta se debe llevar a cabo sin ocasionar daños a los mismos. Habrá que atender al Plan de mantenimiento de Instalaciones y Equipos para realizar esta etapa satisfactoriamente. De igual forma, habrá que cumplir el Plan de Limpieza y Desinfección para evitar la posible suciedad acumulada en el depósito y para eliminar correctamente los productos utilizados para la limpieza que pueden dañar las características de los productos. Esta etapa no es considerada como PCCe del sistema.

- Embotellado

Aunque la etapa de embotellado no es objeto de este proyecto, se va a analizar si constituye un PCCe del sistema puesto que se trata de la última etapa antes de que el producto llegue al consumidor. En esta etapa hay que poner especial interés en evitar la incorporación de sustancias extrañas a las botellas que puedan ocasionar lesiones al consumidor.

Esta etapa es la última oportunidad para detectar daños físicos en el producto antes de su almacenamiento y distribución, por lo tanto si será considerada como PCCe del sistema.

➤ **ARBOL DE DECISIONES PARA DETERMINAR LOS PCC**

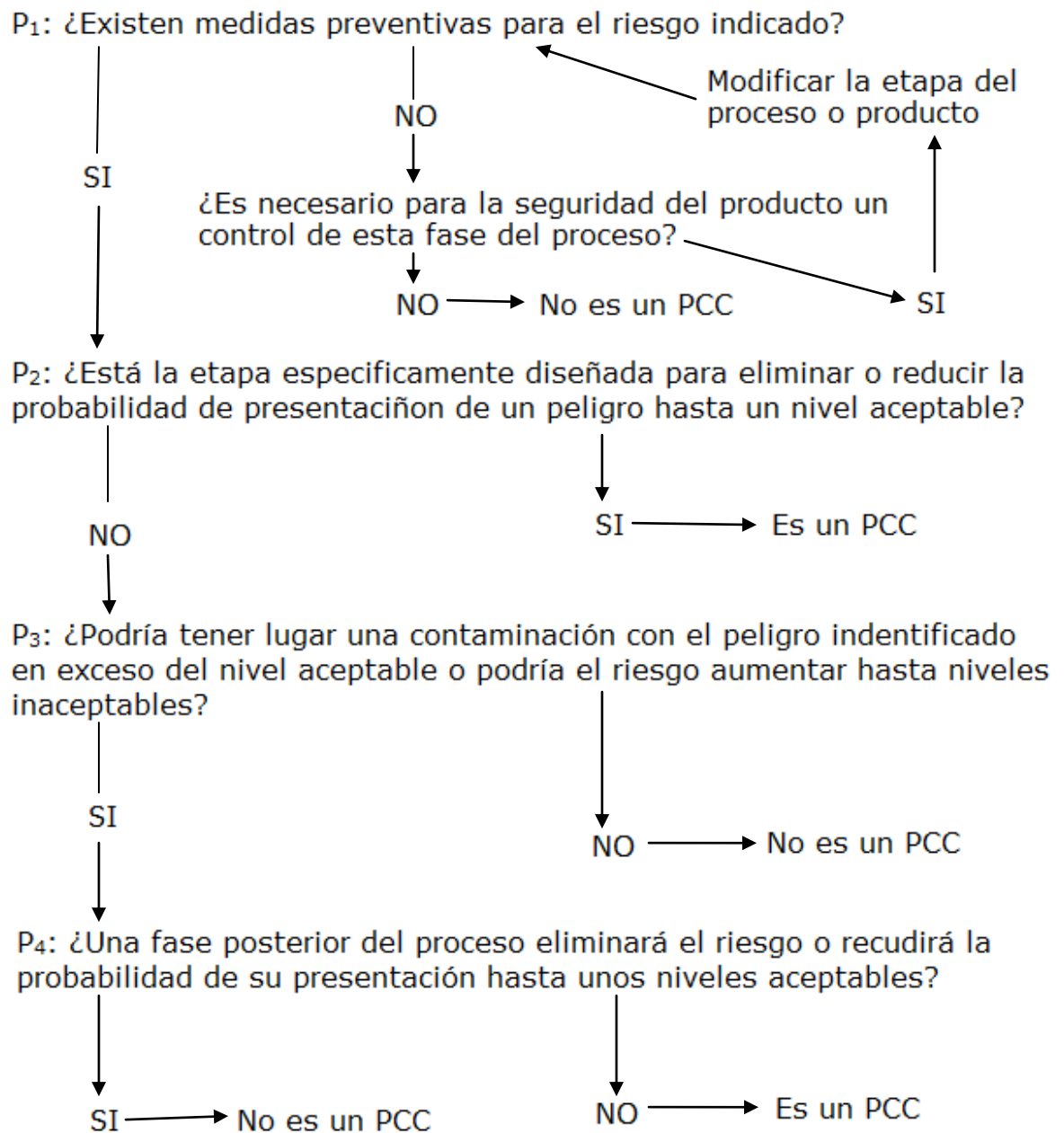


FIG VII.2: Árbol de decisiones para determinar los PCC

2.4. Resultados de la determinación de los PCCe

ETAPA	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	¿PCC _e ?
Recepción de materias primas	SI	NO	NO	-	NO
Fermentación	SI	NO	NO	-	NO
Evaporación					
Filtración	SI	NO	NO	-	NO
Mezclas	SI	NO	NO	-	NO
Almacenamiento de productos	SI	NO	NO	-	NO
Embotellado	SI	NO	SI	NO	SI

TABLA II: Resultados de la determinación de puntos críticos

Llegados a este punto, se llega a la conclusión de que la única etapa que se considera un punto de control crítico específico es la etapa de embotellado. Debido a que esta etapa no es objeto del presente Proyecto no se va a continuar con el plan APPCC en el que se debería establecer el sistema de vigilancia de dicho punto crítico, las medidas correctoras y los procedimientos de comprobación del sistema.

CAPÍTULO 12. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

1. Prevención de riesgos laborales.

La planta del presente proyecto, al estar situada próxima a una bodega, se adaptará al plan de prevención de riesgos laborales de ésta.

En este capítulo se trata las medidas necesarias para procurar la seguridad e higiene laboral. Esto incluye evitar accidentes y enfermedades profesionales y procurar que se den las mejores condiciones posibles para los trabajadores.

1.1. Seguridad e higiniede laboral.

En el diseño de la planta y en el manejo de los productos obtenidos debe cumplirse la Ley 31/1.995, Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

En el punto 1 del Artículo 15, del capítulo III (derechos y obligaciones) de dicha ley se exponen los principios generales de la acción preventiva. Estos son:

- Evitar riesgos.
- Evaluar los riesgos que no se pueden evaluar.
- Combatir los riesgos en su origen.
- Adaptar el trabajo a la persona, en particular a lo que respecta a la concepción del puesto de trabajo, así como la elección de los métodos de trabajo y de producción, con miras, en particular a atenuar el trabajo monótono y repetitivo y a reducir los efectos del mismo en la salud.
- Tener en cuenta la evolución de la técnica.
- Sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro.
- Planificar la prevención, buscando un conjunto coherente que integre en ella la técnica, la organización del trabajo, las condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de los factores ambientales en el trabajo.
- Adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.

- Dar las debidas instrucciones a los trabajadores.

Para cumplir estos preceptos se ha procurado utilizar sustancias y equipos que presenten el menor riesgo posible y sean acordes con el RD. 1215/1.997, utilización de equipos de trabajo. De todas formas, en los casos en los que no se ha podido evitar la presencia de un riesgo, se han adoptado las medidas necesarias para disminuirlo.

Las normas mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo se recogen en el RD. 486/1997. Estas son:

- Seguridad estructural: estabilidad y solidez.
- Dimensiones de los locales.
- Vías de circulación.
- Vías y salidas de evacuación y emergencia.
- Equipos de detección y lucha contra incendios.
- Instalación eléctrica (a completar con el reglamento de baja tensión).
- Orden, Limpieza y mantenimiento.
- Condiciones ambientales: ventilación y temperatura.
- Iluminación.
- Locales de primeros auxilios.

Para los equipos sometidos a presión, se tiene en cuenta la normativa R.D 2060/2008, por el que se aprueba el Reglamento de los equipos a presión, R.D 769/1.999, que dicta las disposiciones de aplicación de la directiva del Parlamento Europeo y del consejo, 97/23/CE, relativa a los equipos de presión y la Resolución de 22 febrero 2001, de la Dirección General de Política Tecnológica, por la que se acuerda la publicación de la relación de normas armonizadas en el ámbito del RD 769/1999.

A continuación se mencionan importantes aspectos de seguridad a tener en cuenta, referidos al lugar y a los equipos de trabajo.

- El orden, la limpieza y un mantenimiento adecuado son claves para conseguir que la práctica se lleve a cabo de forma segura y mejorar la calidad del proceso. Por ello

siempre se mantendrán las zonas de paso y las vías de circulación libre de obstáculos y se realizarán periódicamente la limpieza de los equipos y siempre que sea necesario, la eliminación de residuos.

- Condiciones de protección contra incendios. Es fundamental la realización del Plan de emergencia y evacuación y éste debe ser conocido por todos los trabajadores.
- Iluminación. Para esta actividad, la normativa establece una iluminación mínima de 200 lux pero por motivos ergonómicos se aconseja que sea 400 lux. Esta iluminación debe ser uniforme y no debe provocar ningún tipo de riesgo eléctrico, de incendio o explosión. Por otro lado, se requiere la presencia de alumbrado de seguridad.
- Instalación eléctrica. Se cumplirá el R.D 485/1997, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. La instalación no puede entrañar riesgo de incendio o explosión, ni de contactos eléctricos directos o indirectos.
- Se emplearán todas las señales necesarias para los equipos contra incendio y prohibición de acceso a personas ajenas a ciertas zonas. También se dispone de señales luminosas y acústicas para hacer frente a situaciones peligrosas, como pueden ser los incendios.
- El R.D 1316/1989 protege a los trabajadores de los riesgos derivados por los ruidos que puedan generar los equipos. El mantenimiento de las máquinas consigue que el ruido no aumente con su uso.

A la hora de adquirir una máquina, ésta debe cumplir la normativa vigente, de forma que las responsabilidades preventivas se repartirán entre el fabricante y el operario. El empresario debe comprobar que las máquinas adquiridas son totalmente seguras. En el manual de instrucciones de las máquinas debe estar explicado cómo llevar a cabo su utilización limpieza y mantenimiento para no exponerse a ningún riesgo.

Es importante añadir que las medidas de seguridad serán poco útiles si los trabajadores no están perfectamente informados sobre la prevención de riesgos a los que están expuestos.

2. Higiene de la planta

La higiene en la planta es muy importante cuando se trata de productos alimentarios, por ello todas las zonas en contacto directo con los alimentos estarán diseñadas de materiales inertes para que no transmitan al producto ni aromas ni sabores desagradables.

Estos materiales inertes son aceptados para el uso alimentario. Concretamente los materiales usados para cada equipo son los siguientes:

- Los equipos son de acero inoxidable.
- Las conducciones del sistema de aireación son de PVC.
- Las conducciones del aporte de oxígeno son de cobre.
- Las conducciones para el transporte de los líquidos son de noprano.
- El interior de las válvulas son de PVC O de PVDF.

Todos los equipos tienen un drenaje en la zona inferior para llevar a cabo las operaciones de limpieza y mantenimiento. Los cinco tanques de almacenamiento y el mezclador 1 tienen boca hombre para poder acceder a su interior. El fermentador tiene una brida en la parte superior que permitirá que su mantenimiento y limpieza se lleve a cabo desde el exterior del equipo. El mantenimiento y limpieza del mezclador 2 también se llevará a cabo desde el exterior.

3. Eliminación de residuos

En el presente proyecto no se genera gran impacto medioambiental ya que los únicos residuos que se generan son el agua de lavado de los equipos y el agua usada para la refrigeración del fermentador.

Los residuos deben eliminarse correctamente aunque el volumen de los generados en esta planta sea pequeño en comparación con los

generados en otro sector. El tipo de tratamiento y gestión de los residuos dependerá de las características y peligrosidad de los mismos, así como de la posibilidad de recuperación, reutilización o reciclado.

Las aguas de lavado de los equipos suelen estar a 100°C y suelen contener algo de lejía. Éstas serán almacenadas en un depósito acondicionado para ello. En este depósito se neutralizará el pH y se esperará a que baje su temperatura para posteriormente verterlas.

El agua utilizada para la refrigeración del fermentador puede verterse directamente a la red de alcantarillado, ya que éstas tendrán una temperatura próxima a los 30°C y su vertido no provocará contaminación térmica.

Otro aspecto a tener en cuenta son los derrames que se puedan originar en la planta, siendo muy importante tanto la rapidez de acción frente a ellos como la aplicación de métodos de descontaminación.

A continuación se citan una serie de recomendaciones generales para el tratamiento de residuos:

- Deben considerarse las disposiciones legales vigentes, tanto a nivel general como local.
- Previamente deben ser neutralizados y cuando se viertan por los desagües, hacerlo con abundante agua.
- Informarse de las indicaciones de peligro y consideraciones de manejo de las sustancias.
- Consultar las instrucciones para elegir el procedimiento adecuado.
- No se deben tirar a la papelera habitual trapos, papeles de filtro u otras materias impregnables o impregnadas.

CAPÍTULO 13. LEGISLACIÓN

- Real Decreto 661/2012, de 13 de abril, por el que se establece la norma de calidad para la elaboración y la comercialización de los vinagres.
- Reglamento (CE) nº 583/2009 de la Comisión, de 3 de julio de 2009, por el que se inscribe una denominación en el Registro de Denominaciones de Origen Protegidas y de Indicaciones Geográficas Protegidas [Aceto Balsamico di Modena (IGP)].
- Reglamento (CEE) nº 2092/91 del Consejo, de 24 de junio de 1991, sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios.
- Real Decreto 2001/1995, de 7 de diciembre, por el que se aprueba la lista positiva de aditivos colorantes autorizados para su uso en la elaboración de productos alimenticios, así como sus condiciones de utilización.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- REAL DECRETO 769/1999, de 7 de mayo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, relativa a los equipos de presión.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.
- Código ASME Sección VIII Div. 1 Diseño, Construcción e Inspección de Tanques y Recipientes de Presión.

CAPÍTULO 14. BIBLIOGRAFÍA

- de Ory, I.; Romero, L.E.; Cantero, D. (1997a). Modelling the kinetics of growth of *Acetobacter aceti* in discontinuous culture: influence of the temperature of operation. *Appl Microbiol Biotechnol* (1998) 49: 189-193.
- de Ory, I.; Romero, L.E.; Cantero, D. (1997b). Optimum starting-up protocol of a pilot plant scale acetifier for vinegar production. *Journal of Food Engineering* (2002) 52: 31-37.
- de Ory, I.; Romero, L.E.; Cantero, D. (1999). Maximum yield acetic acid fermenter. Comparative fed-batch and continuous operation studies at pilot plant scales. *Bioprocess Engineering* (1999) 21: 187-190.
- de Ory, I. (1999). Diseño, puesta a punto y desarrollo de un acetificador de alto rendimiento a escala de planta piloto. Estudio de alternativas de operación en régimen continuo. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.
- Joyeux, A.; Lafon-Lafourcade, S.; Ribereau-Gayon, P. (1984). Evolution of acetic acid bacteria during fermentation and storage of wine. *Appl. Environ. Microbiol.*, July, 153-156.
- Mintel Custom Solutions (2006). Data Presented at VI Annual Meeting.
- Muraoka, H.; Watabe, Y.; Ogasawara, N.; Takahashi, H. (1982). Purification and properties of coenzyme-independent alcohol dehydrogenase from the membrane fraction of *Acetobacter aceti*. *J. Ferment. Technol.*, 60, N°1, 41-50.
- Soo Park, Y.; Ohtake, H.; Fukaya, M.; Okumura, H.; Kawamura, Y.; Toda, K. (1989). Effects of dissolved oxygen and acetic acid concentrations on acetic acid production in continuous culture of *Acetobacter aceti*. *J. Ferment. Bioeng.* 68(2), 96-101.
- Swings, J.; De Ley, J.; Gillis, M. (1984). Genus III. *Frateriella*. Swings, Gillis, Kersters, De Vos, Gossele and De Ley, 1980, 547VP. En *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, Vol. 1 (9th Ed.). J.G. Holt. 210-213. The Williams and Wilkins Co., Baltimore.

DOCUMENTO N° 1.B: MEMORIA DE CÁLCULO

DOCUMENTO N°1.B: MEMORIA DE CÁLCULO

CAPÍTULO 15. CÁLCULOS GENERALES	1
1. Equivalencia entre los diferentes modos de expresar las graduaciones de vinos y vinagres	1
2. Estimación de la velocidad de producción	2
3. Estimación de la producción final	2
4. Estimación de la frecuencia de abastecimiento de materia prima y evacuación de producto	5
 CAPÍTULO 16. DISEÑO MECÁNICO DE RECIPIENTES A PRESIÓN	 7
1. Introducción	7
 2. Diseño mecánico del fermentador	 12
2.1. Espesor mínimo de la envolvente	13
2.2. Espesor de los fondos	14
2.3. Altura de la pestaña	16
2.4. Dimensiones reales del fermentador	16
2.5. Soportes del fermentador	18
2.6. Esfuerzos en recipientes a presión	20
 3. Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de vino	 28
3.1. Espesor mínimo de la envolvente	29
3.2. Espesor de los fondos	31
3.3. Altura de la pestaña	32
3.4. Dimensiones reales del tanque	32
3.5. Patas de soporte	34
3.6. Esfuerzos en recipientes a presión	35

4. Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de mosto	43
4.1. Espesor mínimo de la envolvente	43
4.2. Espesor de los fondos	45
4.3. Altura de la pestaña	47
4.4. Dimensiones reales del tanque	47
4.5. Patas de soporte	49
4.6. Esfuerzos en recipientes a presión	49
5. Diseño mecánico del evaporador	58
6. Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de mosto concentrado	63
6.1. Espesor mínimo de la envolvente	63
6.2. Espesor de los fondos	65
6.3. Altura de la pestaña	66
6.4. Dimensiones reales del tanque	66
6.5. Patas de soporte	68
6.6. Esfuerzos en recipientes a presión	69
7. Diseño mecánico del mezclador 1	77
7.1. Espesor mínimo de la envolvente	77
7.2. Espesor de los fondos	79
7.3. Altura de la pestaña	80
7.4. Dimensiones reales del tanque	81
7.5. Patas de soporte	82
7.6. Esfuerzos en recipientes a presión	83
8. Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de vinagre balsámico	91
8.1. Espesor mínimo de la envolvente	92
8.2. Espesor de los fondos	93
8.3. Altura de la pestaña	95
8.4. Dimensiones reales del tanque	96
8.5. Patas de soporte	97

8.6. Esfuerzos en recipientes a presión	98
9. Diseño mecánico del mezclador 2	106
9.1. Espesor mínimo de la envolvente	107
9.2. Espesor de los fondos	109
9.3. Altura de la pestaña	110
9.4. Dimensiones reales del tanque	110
9.5. Patas de soporte	112
9.6. Esfuerzos en recipientes a presión	113
10. Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de crema de vinagre balsámico.	121
10.1. Espesor mínimo de la envolvente	121
10.2. Espesor de los fondos	123
10.3. Altura de la pestaña	125
10.4. Dimensiones reales del tanque	125
10.5. Patas de soporte	127
10.6. Esfuerzos en recipientes a presión	128
CAPÍTULO 17. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL FERMENTADOR	137
1. Calor generado durante la fermentación	137
2. Sistema de refrigeración	138
2.1. ΔT_{mL}	140
2.2. U_S	140
2.3. U_C	144
2.4. Grados de libertad y variables de diseño	147
2.5. Condiciones de operación del serpentín	152
2.6. Dimensiones características del serpentín	155
2.7. Parámetros definitivos del sistema de refrigeración	156
CAPÍTULO 18. CONDUCCIONES	160
1. Parámetros de diseño del sistema de tuberías	160

1.1. Presión de diseño	160
1.2. Temperatura de diseño	160
1.3. Material de construcción	161
1.4. Cálculo del diámetro nominal	162
1.5. Espesor mínimo de pared	164
1.6. Especificaciones dimensionales de las conducciones	165
2. Pérdidas de carga	166
2.1. Primarias: Pérdidas de cargas por fricción	166
2.2. Secundarias: Pérdidas de cargas por los accesorios	168
CAPÍTULO 19. EQUIPOS PARA LA IMPULSIÓN DE FLUIDOS	175
1. Altura útil	175
2. Potencia	185
CAPÍTULO 20. SISTEMA DE AIREACIÓN Y APOORTE DE OXÍGENO	188
1. Consumo de oxígeno	188
2. Sistema de aporte de oxígeno	189
3. Parámetros de aireación	190

CAPÍTULO 15. CÁLCULOS GENERALES

1. Equivalencia entre los diferentes modos de expresar las graduaciones de vinos y vinagres.

Para las siguientes estimaciones se va a considerar que el vino es una mezcla binaria de etanol y agua y que el vinagre es una mezcla ternaria de agua, ácido acético y etanol. Estas consideraciones distan de ser ciertas porque para ambos productos se obtienen una amplia lista de otros componentes. Las bajas concentraciones de estos componentes permiten que estas consideraciones puedan darse por válidas.

La graduación alcohólica de un vino se expresa generalmente como la concentración de etanol en porcentaje en volumen. Por ejemplo, un vino de 10° equivale a decir que su concentración es de un 10% v/v.

Para la producción de vinagre balsámico y crema de vinagre balsámico se parte de un vino Pedro Ximénez de 12,5° alcohólicos, o lo que es lo mismo, de 12,5% v/v. Para expresar esta concentración en porcentaje en peso es necesario conocer las densidades de los componentes puros, a 20°C.

Como se ha comentado anteriormente, se considera que el vino es una mezcla binaria de etanol y agua, por lo tanto:

- $\rho_{EtOH} = 786 \text{ g/l}$
- Peso molecular del etanol : 46,069 g/mol

Partiendo de un vino cuyo grado alcohólico es de 12,5° y teniendo en cuenta que se debe de dejar 0,5° de alcohol residual en el vinagre final, se convertirán 12°.

$$12^\circ = \frac{12 \text{ L EtOH}}{100 \text{ L vino}} * \frac{786 \text{ g EtOH}}{1 \text{ L EtOH}} * \frac{1 \text{ mol EtOH}}{46,069 \text{ g EtOH}} = 2,05 \text{ moles EtOH/L vino}$$

Al tratarse de una reacción cuya estequiometría del etanol y del ácido acético es 1:1, se obtiene que se generarían 2,05 moles de ácido acético por litro de vinagre. Sabiendo el peso molecular del acético, se obtiene los gramos de ácido acético que se generan partiendo de un vino de 13° alcohólicos.

- Peso molecular del ácido acético: 60,053 g/mol

$$\frac{2,05 \text{ moles } AcH}{L \text{ vinagre}} * \frac{60,053 \text{ g } AcH}{\text{moles } AcH} = 122,95 \text{ g } AcH/L \text{ vinagre} = 12,3^{\circ} \text{ acéticos}$$

Así se llega que partiendo de un vino de 12,5° alcohólicos, se obtiene un vinagre de 12,3° acéticos.

2. Estimación de la velocidad de producción del equipo

Según la bibliografía, la velocidad de acetificación media para un ciclo de fermentación alcanzada en un fermentador con configuraciones similares al diseñado para este proyecto es de 0,15° acéticos a la hora.

3. Estimación de la producción anual

La estimación anual se hará en función de la etapa limitante del proceso global, la que mayor tiempo de operación en discontinuo requiere; en este caso, la fermentación acética. Al principio de cada ciclo productivo, en el fermentador acético se parte de un vino de 13° para obtener un vinagre de 12°. Esta primera etapa de arranque tardará unas 80 horas, 3,33 días. Por seguridad se establecen 4 días para este ciclo, así se tendrá la certeza de que la primera acetificación se ha completado y además se tendrá en cuenta los tiempos empleados en carga y descarga.

Para ciclos fermentativos posteriores, hay que tener en cuenta que se debe minimizar la fase de latencia de los microorganismos. La fase de latencia es el periodo de tiempo de adaptación de la biomasa a las nuevas condiciones, ya que el crecimiento no empieza de inmediato al inocular el medio. Según la bibliografía, excesivas concentraciones tanto de alcohol como de ácido acético dan lugar a un aumento de la duración de la fase de latencia. Esto se evita descargando una parte del producto final y dejando la parte restante en el fermentador para luego completarlo con vino. En las bodegas de vino, el porcentaje de descarga varía entre 75 y 90%. En este proyecto se descarga el 85% del volumen útil de reactor, dejando el 15% restante en el fermentador para luego completarlo con vino de forma que la mezcla inicial tenga 1,82° de

acéticos. Esta concentración permite que la fase de latencia sea rápida y que las bacterias empiecen a metabolizar el alcohol para iniciar el ciclo fermentativo. De esta forma, en cada ciclo se descargarían $1,06 \text{ m}^3$ de vinagre y se dejarían en el fermentador $0,19 \text{ m}^3$ para luego añadir $1,06 \text{ m}^3$ de vino.

De este modo, desde el segundo ciclo en adelante, la fermentación comenzará con $1,82^\circ$ de acéticos y acabará cuando se alcance los 12° acéticos que se desea para nuestro vinagre de vino. Como la velocidad de acetificación es de $0,15^\circ$ de acéticos a la hora, a partir del segundo ciclo en adelante, la fermentación durará aproximadamente 67,87 horas, esto es, 2,8 días. Por seguridad se establecen 3 días.

Para saber la producción total obtenida se tendrá en cuenta que:

- Se tarda 4 días en arrancar el equipo y el equipo se arrancará dos veces al año.
- Se tarda 3 días en cada ciclo de fermentación a partir del segundo ciclo.
- Se establecen 7 días para el mantenimiento y limpieza de la planta. Se llevará a cabo dos periodos de mantenimiento al año.

Teniendo esto en cuenta, el cálculo de la producción total es sencillo. El mantenimiento y limpieza de la planta se llevará a cabo durante 7 días cada seis meses de funcionamiento. De esta forma el proceso se va a iniciar dos veces al año, justo después de cada periodo de mantenimiento. Para estos primeros ciclos se necesitarán 4 días, en los cuales se va producir $1,25 \text{ m}^3$ de vinagre de vino. Teniendo en cuenta los días destinados a los primeros ciclos y los días que durarán los periodos de mantenimiento, los días de funcionamiento de la planta se ven reducidos a 343 días una vez arrancado el proceso. Como son necesarios 3 días para obtener el vino, habrá que descargarlo 115 veces al año, obteniendo en cada una de ellas $1,06 \text{ m}^3$ de vinagre de vino. Por lo tanto se obtendrá una producción anual de $121,90 \text{ m}^3$ de vinagre de vino. A esta producción habrá que sumarle la obtenida en los últimos ciclos inmediatamente anteriores a los periodos de mantenimiento, que serán diferentes puesto que en estos ciclos si se descargaría el volumen total del fermentador ($1,25 \text{ m}^3$, por lo tanto $2,5 \text{ m}^3$). Por lo tanto se obtendrá una producción total de

124,40 m³/año de vinagre de vino

Para obtener el vinagre balsámico de 6º de acético se dirige el vinagre de vino de 12º de a un mezclador donde se mezclará en igual proporción con el mosto concentrado y se añadirá caramelo.

Para calcular la producción de vinagre balsámico obtenido tras el mezclador 1 se tiene en cuenta que al utilizar idéntica proporción, en todos los ciclos se mezclará 1,06 m³ de vinagre de vino con 1,06 m³ de mosto concentrado y se añadirá caramelo para obtener en cada ciclo 2,12 m³ de vinagre balsámico. Al tratarse de 115 ciclos, se obtendrán 243,80 m³ de vinagre balsámico, despreciando los pequeños volúmenes de caramelos añadidos. A esta cantidad hay que sumarle el vinagre balsámico obtenido en los últimos ciclos inmediatamente antes de los periodos de mantenimiento, en los que se mezclará 1,25 m³ de vinagre de vino con 1,25 m³ de mosto concentrado y se añadirá caramelo para obtener 2,50 m³ de vinagre balsámico (5 m³ de vinagre balsámico). Por lo tanto, en el mezclador 1 se obtendrá un total de 248,80 m³ de mezcla.

De esta mezcla obtenida, un porcentaje será dirigido al depósito de almacenamiento de vinagre balsámico para destinarlo al consumo, mientras que otro porcentaje será dirigido al mezclador 2 para producir crema de vinagre balsámico.

El 85% de la mezcla obtenida en el mezclador 1 se dirige al depósito de almacenamiento de vinagre balsámico, por lo tanto se obtendrá una producción total de

211,48 m³/año de vinagre balsámico

Esta producción anual dirigida al consumo, se corresponde con 845.920 botellas de 25 cl de vinagre balsámico.

El 15% restante de la mezcla obtenida en el mezclador 1 se dirige al mezclador 2 donde se va mezclar con mosto concentrado en igual proporción y se va añadir caramelo para obtener crema de vinagre balsámico de Pedro Ximénez. Por lo tanto en el mezclador 2 se mezclará 37,32 m³ de vinagre balsámico con 37,32 m³ de mosto concentrado y se añadirá caramelo para obtener una producción total, despreciando los pequeños volúmenes de caramelo, de

74,64 m³/año de crema de vinagre balsámico

Esta producción anual dirigida al consumo, corresponde con 298.560 botellas de 25 cl de crema de vinagre balsámico.

En la siguiente tabla se recogen los datos de producción anual anteriormente explicados:

Producto	m³/año	Botellas de 25 cl
Vinagre de vino 12,3º	124,40	
Vinagre balsámico P.X 6º	211,48	845.920
Crema de vinagre balsámico P.X 3º	74,64	298.561

TABLA III.1: Producción anual estimada

4. Estimación de la frecuencia de abastecimiento de materia prima y evacuación de producto

La frecuencia de abastecimiento de materia prima vendrá determinada por el tiempo que tarde en vaciarse tanto el depósito de almacenamiento de mosto como el depósito de almacenamiento de vino.

El volumen útil del depósito de almacenamiento de vino es de 1,25 m³. El caudal de salida de este tanque es 1,25 m³/ciclo. Se debe diferenciar entre la duración del primer ciclo fermentativo después de la puesta en marcha (4 días) y la duración de los ciclos fermentativos restantes (3 días). Una vez iniciada la puesta en marcha del equipo el fermentador se vacía al cuarto día, por lo que a ese tiempo será necesario abastecer de vino el tanque de almacenamiento para poder llenar de nuevo el fermentador. A partir de este momento la frecuencia de abastecimiento de vino será cada 3 días, ya que cada 3 días se completan los ciclos fermentativos restantes.

El volumen útil de trabajo del depósito de almacenamiento del mosto es 3,25 m³. El volumen de salida de este tanque hacia la etapa posterior es, lógicamente, 3,25 m³/ciclo. Debido a que este volumen no se ve afectado por la duración de la fermentación, se toma como duración máxima de la etapa de evaporación posterior 3 días. Por lo tanto, la frecuencia de abastecimiento de mosto será cada 3 días.

La frecuencia de evacuación de los productos vendrá determinada por el tiempo que tarde en llenarse tanto el depósito de almacenamiento de vinagre balsámico como el depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico.

El volumen útil del tanque de almacenamiento de vinagre balsámico es de 10 m^3 . El caudal de entrada a este tanque es de $2,12 \text{ m}^3/\text{ciclo}$. Tomando 3 días como valor de cada ciclo, la frecuencia de evacuación del tanque de vinagre balsámico se calcula de la siguiente forma:

$$10 \text{ m}^3 * \frac{1 \text{ ciclo}}{2,12 \text{ m}^3} * \frac{3 \text{ días}}{1 \text{ ciclo}} = 14,12 \text{ días} \cong 14 \text{ días}$$

El volumen útil del tanque de almacenamiento de crema de vinagre balsámico es de 5 m^3 . Debido a que el caudal de entrada a este tanque es de $0,75 \text{ m}^3$ y a que se toma como valor de cada ciclo 3 días, la frecuencia de evacuación de este tanque será de:

$$5 \text{ m}^3 * \frac{1 \text{ ciclo}}{0,75 \text{ m}^3} * \frac{3 \text{ días}}{1 \text{ ciclo}} = 20 \text{ días}$$

CAPÍTULO 16. DISEÑO MECÁNICO DE RECIPIENTES A PRESIÓN

1. Introducción

Para que los cálculos conducentes al diseño mecánico de los equipos queden más simplificados, se supondrá que los equipos son cilíndricos. De este modo quedan definidos por la altura (H) y el diámetro (D). Las expresiones a tener en cuenta son las siguientes.

$$V = \pi * \frac{D^2}{4} * H = \pi R^2 H \quad \rightarrow \quad H = \frac{V}{\pi R^2}$$

$$S = 2\pi RH + 2\pi R^2 \quad \rightarrow \quad S = 2\pi R * \frac{V}{\pi R^2} + 2\pi R^2 \quad \rightarrow \quad S = \frac{2V}{R} + 2\pi R^2$$

Para conseguir el volumen deseado usando la mínima cantidad de material posible, se aplica las condiciones de superficie mínima y se calcula la altura y el diámetro. De este modo, los costes del material usado serán menores.

$$\frac{dS}{dR} = 0 \quad ; \quad \frac{-2V}{R^2} + 4\pi R = 0$$

$$\frac{2V}{R^2} = 4\pi R \quad ; \quad R = \sqrt[3]{\frac{V}{2\pi}}$$

Con esta expresión, sabiendo el volumen del equipo se puede calcular el radio óptimo y con él la altura correspondiente. En la siguiente tabla se recoge las dimensiones de cada recipiente:

EQUIPOS	V (m³)	R (m)	H (m)	H/D
Fermentador	1,44	0,61	1,22	1
DV	1,44	0,61	1,22	1
DM	3,74	0,84	1,68	1
DMC	2,33	0,72	1,43	1
M1	2,88	0,77	1,54	1
DVB	11,5	1,22	2,45	1
M2	1,15	0,57	1,14	1
DVCB	5,75	0,97	1,94	1

TABLA III.2a: Dimensionamiento inicial de los equipos

Siendo:

DV: Depósito de almacenamiento de vino.

DM: Depósito de almacenamiento de mosto.

DMC: Depósito de almacenamiento de mosto concentrado.

M1: Mezclador 1.

DVB: Depósito de almacenamiento de vinagre balsámico.

M2: Mezclador 2.

DCVB: Depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico.

Estas dimensiones corresponden, tal y como se han comentado, a las óptimas pero realmente la relación geométrica en este tipo de equipos es muy variable. Para el caso del fermentador se elige una relación $H/D = 1,5$ para asegurar un correcto recorrido de las burbujas de aire, garantizando una máxima transferencia de materia en el medio. Se elegirá para los depósitos de almacenamiento una relación $H/D = 2$, por motivos de espacio.

A partir de la relación geométrica H/D , se puede calcular el diámetro y la altura ideal en cada caso.

$$\frac{H}{D} = \alpha \rightarrow H = \alpha D$$

$$V = \pi * \frac{D^2}{4} * H = \pi * \frac{D^2}{4} * \alpha D = \frac{D^3}{4} \pi \alpha \rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi \alpha}}$$

La siguiente tabla recoge las dimensiones de los equipos para la nueva relación geométrica fijada.

EQUIPOS	V (m ³)	H/D = α	D (m)	H (m)
Fermentador	1,44	1,5	1,07	1,60
DV	1,44	2	0,97	1,94
DM	3,74	2	1,34	2,67
DMC	2,33	2	1,14	2,27
M1	2,88	1,5	1,27	1,91
DVB	11,50	2	1,94	3,88
M2	1,15	2	0,90	1,80
DVCB	5,75	1,5	0,85	1,28

TABLA III.2b: Dimensiones de los equipos

Para hacer el diseño mecánico de los recipientes a presión se debe disponer de los siguientes datos:

- Código a utilizar para su diseño y cálculo.
El diseño de los recipientes a presión estará regido por la norma americana ASTM (American Society for Testing and Materials), que en su Sección VIII, División 1 indica los métodos de diseño y cálculo, los requisitos mínimos exigidos a los materiales, detalles constructivos y pruebas que deben superar los equipos a baja, media y alta presión.
- Presión de diseño.
Esta presión debe ser mayor a la máxima de operación. Su valor se fijará eligiendo el mayor de estos tres valores:
 - $P \geq 1,1 \cdot \text{Presión máxima de operación (kg/cm}^2\text{)}$
 - $P \geq \text{Presión máxima de operación} + 2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
 - $P \geq 3,5 \text{ kg/cm}^2$En este proyecto, los recipientes a presión están sometidos a presión atmosférica. Por lo tanto, la presión de diseño de todos será $3,5 \text{ kg/cm}^2$.
- Temperatura de diseño.
Esta temperatura también debe ser mayor a la máxima que se alcance durante el proceso. Normalmente, la temperatura de diseño es 20°C por encima de la temperatura máxima de operación.
En el fermentador se va a alcanzar una temperatura máxima de 31°C ; por lo tanto, la temperatura de diseño será de 51°C . Los depósitos de almacenamiento tendrán una temperatura ambiental que rondará los 20°C ; por lo tanto, la temperatura de diseño será de 40°C .
- Tipo de material.
Ya se detalló en el capítulo 7 de la memoria descriptiva que el material elegido para los recipientes a presión sería el acero inoxidable. Todos los recipientes a presión serán construidos con el tipo AISI 316L menos el depósito de almacenamiento de vino que será construido con AISI 304L.

Las propiedades mecánicas de ambos tipos de acero inoxidable son:

- Carga de rotura: 4800 kg/cm^2
- Límite elástico: 1760 kg/cm^2

- Corrosión máxima admisible.

La corrosión es el deterioro que sufre un metal o aleación debida a la oxidación o a la acción de un agente químico.

Los recipientes o las partes de ellos que puedan sufrir corrosión deben tener un margen de espesor para lograr la vida deseada. El espesor del material aumenta convenientemente respecto al determinado por las fórmulas de diseño.

En la siguiente tabla se recoge el sobre-espesor normal de corrosión en función del material:

MATERIAL	SOBRE-ESPESOR
Acero al carbono	3
Acero de baja aleación	3
Acero de media aleación	1,5
Acero de alta aleación	1,5
Material no férreo	0.5
Con recubrimiento interior	0

TABLA III.3: Sobre espesor normal para la corrosión en función del tipo de material (Manual De Recipientes a Presión, 1.999)

- Velocidad o Presión del viento.

Este dato afecta al diseño de los equipos cuando están expuestos a la acción del viento. Esta planta estará situada en el interior de un recinto cerrado por lo tanto, el diseño de los equipos no se verá afectado por el viento.

- Coeficiente sísmico.

En el globo terrestre se diferencian zonas donde no existe probabilidad de producirse movimiento sísmico y zonas donde si existe tal probabilidad con diferente intensidad de movimiento en unas y en otras. Por lo tanto, hay zonas donde es necesario determinar el coeficiente sísmico de acuerdo con la norma sismo-resistente PDS-1. Su valor queda recogido en la siguiente tabla:

ZONA SÍSMICA	COEFICIENTE SÍSMICO
Primera	0,1875
Segunda	0,3750
Tercera	0,7500

TABLA III.4: Coeficiente sísmico en función de la zona de ubicación (Manual De Recipientes a Presión, 1.999)

- Eficacia de soldadura e inspección radiográfica.

La soldadura es la unión entre chapas y representa una discontinuidad dentro del trazado de ella. La soldadura se considera una zona debilitada por varios motivos: porque en esa discontinuidad se pueden intensificar las tensiones a las que está sometido el material, porque pueden producirse defectos en la realización de la soldadura y porque la zona próxima a ella está sometida a un rápido calentamiento y enfriamiento.

Teniendo en cuenta esto, en el diseño de los recipientes, la tensión máxima admisible se ve reducida al multiplicarse por un coeficiente denominado eficacia de la soldadura (E). El valor de este coeficiente varía según las normas o códigos y de acuerdo a la soldadura y a los controles realizados sobre ella.

Respecto a la inspección radiográfica, al trabajar a presiones bajas, bastará con hacer radiografiado parcial, por zonas. Por este motivo, para el presente proyecto, el valor de la eficacia de soldadura será de 0,85.

- Tensión máxima admisible.

La tensión máxima admisible en los recipientes a presión deberá ser superior a la presión a la que se somete el material para que no se produzcan deformaciones.

Este valor dependerá de las características del material y del coeficiente de seguridad que se adopte, variando con la temperatura de operación.

Según el código ASTM VIII, div.1, la máxima tensión admisible (S) a la temperatura de diseño es el mínimo de los siguientes valores:

$$S = \min \left[\frac{\sigma_R}{4}; \frac{5}{8} \sigma_y; f_l; \frac{2}{3} f_r \right]$$

Siendo

S : Tensión máxima admisible a la temperatura de proyecto (kg/cm^2).

σ_R : Carga de rotura a la temperatura ambiente (20°C) (kg/cm^2).

σ_y : Límite elástico o carga que produce una deformación del 0,2% a la temperatura de diseño (kg/cm^2).

f_l : Carga que produce un alargamiento del 1% en 100.000 horas por deformación viscosa, a la T de diseño (kg/cm^2).

f_r : Carga de rotura por alargamiento en 100.000 horas a la T de diseño (kg/cm^2).

Para los materiales usados en los equipos de este proyecto:

- Acero inoxidable AISI 316L, 51°C : $S=13.300 \text{ psi}=935,1 \text{ kg/cm}^2$.
- Acero inoxidable AISI 316L, 40°C : $S=13.300 \text{ psi}=935,1 \text{ kg/cm}^2$.
- Acero inoxidable AISI 304L, 40°C : $S=13.400 \text{ psi}=942,12 \text{ kg/cm}^2$.

2. Diseño mecánico del fermentador

Las características del fermentador son las siguientes:

$$V_{\text{útil}} = 1,25 \text{ m}^3$$

$$V = 1,44 \text{ m}^3$$

$$H/D = 1,5$$

$$D = 1,07 \text{ m}$$

$$H = 1,60 \text{ m}$$

$$T \text{ máxima de operación} = 31^\circ \text{ C}$$

$$T \text{ diseño} = 51^\circ \text{ C}$$

$$P \text{ máxima de operación} = P \text{ atmosférica}$$

$$P \text{ diseño} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1,5 \text{ mm}$$

$$E = 0,8$$

2.1. Espesor mínimo de la envolvente

El espesor mínimo será el mayor de los siguientes valores obtenidos por dos métodos diferentes:

- Por especificaciones.

- Según la siguiente expresión:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{1069}{1000} + 2,54 + 1,5 = 5,11 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable: $t_{\min} = 3 \text{ mm}$

- Por tensión circunferencial.

- En función del diámetro exterior (D_0). Se supondrá válido el espesor de 5,06 mm obtenido por las especificaciones para determinar el diámetro exterior

$$t = \frac{P * D_0}{2S * E + 0,8P} + c = \frac{3,5 * (1069 + (2 * 5,11))}{(2 * 935,1 * 0,85) + (0,8 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 3,87 \text{ mm}$$

- En función del diámetro interior (D).

$$t = \frac{P * (D + 2c)}{2S * E - 1,2P} + c = \frac{3,5 * (1069 + 2 * 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (1,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 3,87 \text{ mm}$$

Se toma como válido el mayor de los cuatro valores anteriores. Es decir, el espesor mínimo será 5,11 mm que al normalizarlo se tendrá un espesor de envolvente de 6 mm gobernado por las especificaciones.

Es necesario comprobar si este espesor calculado es válido para soportar los esfuerzos de compresión. Para ello se usa la siguiente expresión:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} = \frac{0,125 * t}{\frac{D}{2} + t} = \frac{0,125 * 6}{534,3 + 6} = 1,39 * 10^{-3}$$

Siendo R_0 el radio exterior de la envolvente (mm). Con este valor de A, el material del equipo (AISI 316L) y la temperatura de diseño (51°C), se obtiene el valor del parámetro B, bien mediante una gráfica o bien, analíticamente con la siguiente expresión:

$$B = \frac{A * E}{2}$$

Donde:

E es el módulo elástico en función de la temperatura,
 $28 * 10^6$ (psi)

B es la tensión de compresión (psi)

$$B = \frac{1,39 * 10^{-3} * 28 * 10^6}{2} = 19434 \text{ psi} = 1366,20 \text{ kg/cm}^2$$

Al ser mayor que la tensión máxima admisible del material (S), el espesor que se calculó anteriormente no es válido.

Para recalcular el espesor, se supone $B=S=13300$ psi

$$13300 = \frac{A * 28 * 10^6}{2} \rightarrow A = \frac{13300 * 2}{28 * 10^6} \rightarrow A = 9,5 * 10^{-4}$$

$$R_0 = 534,3 + t$$

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} \rightarrow 9,5 * 10^{-4} = \frac{0,125}{\frac{534,3 + t}{t}} \rightarrow t = 4,1 \text{ mm}$$

Se debe tomar un espesor normalizado de 5 mm. Con este dato se realizarán los cálculos de las tensiones.

2.2. Espesor de los fondos

El espesor de fondo calculado será el correspondiente al fondo inferior del fermentador, ya que el superior será una brida.

Hay muchos tipos de fondos, los más comunes son los fondos toriesféricos tipo Korbogen o Klopper. Los fondos toriesféricos del tipo Korbogen se usan cuando se den algunas de las condiciones siguientes:

- Presión de diseño $\geq 7 \text{ kg/cm}^2$
- Temperatura de diseño $\geq 350^\circ\text{C}$
- Fondos inferiores de recipientes con relación geométrica $H/D > 10$
- Fondos superiores de recipientes que tengan que soportar cargas concentradas.

En el diseño de este fermentador no se da ninguna de las condiciones mencionadas, por ello el fondo inferior será toriesférico del tipo Klopper. El espesor del fondo inferior será el mayor de los cuatro espesores calculados a continuación:

- Por especificación.
 - Según la siguiente expresión:

$$t_f = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c \text{ (mm)} = \frac{1069 + 2 * 5}{1000} + 2,54 + 1,5$$

$$t_f = 5,12 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable $t_f(\text{min}) = 3\text{mm}$
- Por tensión circunferencial. Se supone como válido el valor obtenido por especificación (5,12) para determinar el radio exterior de la corona (L_0)

$$L_0 = L + t = D_0 + t = 1079 + 5,12 = 1084 \text{ mm} \quad L_0, \text{ radio exterior corona}$$

$$L = D_0 = D + 2t = 1069 + 2 * 5 = 1079 \text{ mm} \quad L, \text{ radio interior corona}$$

- Conociendo los radios exteriores

$$t_f = \frac{1,54P * L_0}{2S * E + 1,34P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * 1084}{(2 * 935,1 * 0,85) + (1,34 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 5,16 \text{ mm}$$

- Conociendo los radios interiores

$$t_f = \frac{1,54P * (L + c)}{2S * E - 0,2P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * (1079 + 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (0,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 5,16 \text{ mm}$$

Se tomará como válido el mayor de los cuatro anteriores. En este caso es el obtenido por tensión circunferencial, 5,16 mm. Al normalizarlo se tendrá como espesor de fondo 6 mm. Este valor también debe comprobarse de la misma manera que el espesor de la envolvente.

Al tratarse del mismo valor de espesor (6 mm) se comprobará que no es válido y se llegará al mismo valor final de espesor de 5 mm.

2.3. Altura de la pestaña

Todos los fondos tienen una carcasa o envolvente que es la transición entre una figura bombeada y una cilíndrica. Esta línea de tangencia es el punto más débil del recipiente porque está sometido a fuertes tensiones. Por esta razón, no es aconsejable realizar la soldadura de la unión fondo-carcasa a lo largo de esta línea. Para ello, el fondo se sitúa con una parte cilíndrica denominada pestaña para evitar esta coincidencia. Esta pestaña debe tener una altura mínima que deberá ser:

$$h \geq 3,5 * t_f = 3,5 * 5 \rightarrow h \geq 17,5 \text{ mm}$$

2.4. Dimensiones reales del fermentador

Al principio de este capítulo, se calculó el volumen del fermentador suponiendo que fuera cilíndrico. Ahora se puede calcular las dimensiones reales del fermentador teniendo en cuenta el

volumen de la envolvente, del fondo inferior y de la pestaña al tratarse de un fermentador cuyo fondo superior es una brida.

El volumen útil del fermentador es el volumen de líquido de trabajo, que en este caso es $1,25 \text{ m}^3$. Este volumen no corresponde al volumen total del equipo. Por encima del nivel del líquido con el que se trabaja se deja una zona de equipo sin utilizar para evitar que el líquido rebose y para las posibles formaciones de espuma o gases. Para ello el volumen total del tanque debe ser aproximadamente un 15% superior al volumen útil.

Por lo tanto el volumen total del fermentador será $1,44 \text{ m}^3$ y éste puede descomponerse en la suma de los siguientes volúmenes.

$$V_{TOTAL} = V_{ENVOLVENTE} + V_{F.INF} + V_{PESTAÑA}$$

Para un fondo tipo Klopper, el volumen del fondo es;

$$V_{F.INF} = 0,1 * D^3 = 0,1 * 1,069^3 \rightarrow V_{FONDO} = 0,122 \text{ m}^3$$

El volumen de la pestaña puede calcularse con la siguiente expresión

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi * 1,069^2}{4} * 0,0175 \rightarrow V_{PESTAÑA} = 0,016 \text{ m}^3$$

Sustituyendo, se calcula el volumen de la envolvente

$$1,44 = V_{ENVOLVENTE} + 0,122 + 0,016 \rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 1,3 \text{ m}^3$$

De forma análoga, la altura del fermentador es la suma de las siguientes alturas:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + H_{FONDOS} + H_{PESTAÑA}$$

La altura de la envolvente se puede calcular conocido el volumen de dicha envolvente.

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi * D^2}{4} * H_{ENV} \rightarrow H_{ENV} = \frac{4 * V_{ENVOLVENTE}}{\pi * D^2} = \frac{4 * 1,3}{\pi * 1,069^2}$$

$$H_{ENV} = 1,45 \text{ m}$$

Para un fondo tipo Klopper, la altura del fondo es

$$H_f = 0,2 * D_0 = 0,2 * 1,079 \rightarrow H_f = 0,216 \text{ m}$$

Por lo tanto,

$$H_{TOTAL} = 1,45 + 0,216 + 0,0175 \rightarrow H_{TOTAL} = 1,68 \text{ m}$$

En la siguiente tabla se resume las dimensiones reales del fermentador.

ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	5
	ALTURA (m)	1,45
	VOLUMEN (m³)	1,3
FONDOS	ESPESOR (mm)	5
	ALTURA (m)	0,216
	VOLUMEN (m³)	0,122
PESTAÑA	ALTURA (mm)	17,5
	VOLUMEN (m³)	0,018
ALTURA TOTAL (m)		1,68
DIAMETRO INTERIOR (m)		1,069
DIAMETRO EXTERIOR (m)		1,079
VOLUMEN ÚTIL (m³)		1,25
VOLUMEN TOTAL (m³)		1,44

TABLA IV.1: Dimensiones reales del fermentador

2.5. Soportes del fermentador

Los recipientes a presión se soportan por medio de faldones, patas, silletas y consolas.

Los faldones se usan cuando se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- El diámetro de la envoltente sea superior a 1,5 mm.
- La relación H/D del recipiente sea mayor que 5.
- Puedan producirse vibraciones.
- El peso del recipiente lleno de agua sea superior a 150000 kg.

Como el fermentador de este proyecto no cumple ninguna de las condiciones mencionadas, para su soporte se va a usar patas. Para su elección se sigue el código ASTM, Sección VIII.

Como se puede ver en las siguientes tablas, los datos necesarios para el cálculo de los soportes son el diámetro exterior del recipiente y la longitud entre líneas de tangencia.

Φ EXTERIOR DEL RECIPIENTE	PATAS SOPORTE			PLACAS		Φ SITUACIÓN TALADROS	A	Φ Pernos	Φ taladros	Carga máxima (kg)	
	Nº	Tipo	Dimensiones	Lado	Espesor						
< 750	3	L	70x70x10	120	10	Φ EXTERIOR DEL RECIPIENTE -50	40	20	26	15400	
750-1050	4		80x80x10	150	12		45			22500	
1050-1350			100x100x10	200	10		65			31500	
1350-1650			100x100x14	250	VER PLANO		90	27	33	48500	
1650-1950			150x150x16							62500	
1950-2260										82000	
2260-2565	6		I	200x90						85500	
2565-2870		280x119							150000		
2870-3200											
> 3200	UTILIZAR FALDON										

TABLA IV. 2: Patas soportes para recipientes verticales

LONGITUD ENTRE LÍNEAS DE TANGENCIAS	LONGITUD SOLDADURA (B)
< 1830	150
1830-2745	230
2745-6000 (max)	305

TABLA IV.3: Patas soportes para recipientes verticales

El diámetro de situación del eje de los taladros se obtiene con la siguiente expresión

$$D_0 - 50 = 1079 - 50 = 1029 \text{ mm}$$

Por lo tanto como soporte se usaran:

- 4 patas de tipo L, de dimensiones 70x70x10 de acero inoxidable AISI 316L.
- Irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 120x10 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.
- La distancia al eje del taladro (A) será de 40 mm
- El diámetro de pernos será 20 mm
- El diámetro de taladros será de 26 mm

Al ser la longitud entre líneas de tangencia menor a 1830 mm, la longitud de soldadura (B) será de 150 mm.

2.6. Esfuerzos en recipientes a presión

Los recipientes a presión están sometidos a diversas cargas que provocan esfuerzos de distintas intensidades en los componentes del recipiente. Dependiendo de la naturaleza de estas cargas, de la geometría del recipiente y de su construcción, el tipo y la intensidad de estos esfuerzos variarán.

Las cargas producidas en este caso son la presión interna, el peso del recipiente y su contenido y las reacciones estáticas del equipo auxiliar, tuberías, revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos...

Para este proyecto no se tendrá en cuenta los esfuerzos debido a los movimientos sísmicos porque no se aprecian en la zona en la que se encuentra y tampoco los debidos a la presión del viento, al estar la planta situada en el interior de un recinto cerrado.

- Tensión longitudinal.

Para calcular la tensión longitudinal se utiliza la siguiente expresión:

$$\sigma_{Pa} = \frac{P (D + 2c)}{4 (t - c)} = \frac{3,5 * (1069 + 2 * 1,5)}{4 * (5 - 1,5)}$$
$$\sigma_{Pa} = 267,90 \text{ kg/cm}^2$$

- Pesos y tensiones debidos a estos.

El peso del recipiente conlleva un esfuerzo por compresión

- Montaje y parada.

En las etapas de montaje y parada, la compresión es debida al peso de la envolvente sin líquido en su interior.

El peso de la envoltente se calcula sabiendo su volumen y la densidad del material.

$$\rho_{ENV} = \frac{P_{ENV}}{V_{ENV}} \rightarrow P_{ENV} = \rho_{ENV} * V_{ENV}$$

Siendo $\rho_{ENV} = 7,85 \text{ kg/dm}^3$

$$V_{ENV} = \frac{\pi (D_0^2 - D^2)}{4} H_{ENV} = \frac{\pi * (10,79^2 - 10,69^2)}{4} * 14,5$$

$$V_{ENV} = 24,44 \text{ dm}^3$$

$$P_{ENV} = 7,85 * 24,44 = 191,86 \text{ kg}$$

Una vez calculado el peso de la envoltente, se puede calcular la tensión debida a este peso usando la siguiente expresión

$$\sigma_{PESO} = \frac{4 P_{ENV} * 10^2}{\pi (D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 191,86 * 10^2}{\pi * (1079^2 - (1069 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{PESO} = 1,62 \text{ kg/cm}^2$$

▪ Operación.

Cuando el equipo está en funcionamiento, se ejerce una compresión que es debida al peso de la envoltente, al peso del líquido de su interior, al peso de las tuberías y al peso de los fondos.

El peso de la envoltente es 191,86 kg.

El peso del líquido en el interior de la envoltente se calcula de la siguiente forma:

$$P_{LIQ.ENV} = V_{LIQ.ENV} * \rho_{LIQ.ENV}$$

La densidad del vinagre varía en función de la temperatura pero se considera como válida la aproximación de que a 31°C, $\rho_{\text{VinagreVinoP.X}} = 1003,7 \text{ kg/m}^3$

El volumen de líquido que ocupa el vinagre en el interior de la envoltente es:

$$V_{LIQ.ENV} = \pi \frac{D^2}{4} H_{ENV} = \pi \frac{1,069^2}{4} * 1,45 = 1,3 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el peso del líquido en el interior de la envolvente será:

$$P_{LIQ.ENV} = 1,3 * 1003,7 = 1304,60 \text{ kg}$$

Para tener en cuenta el peso de las tuberías, se incrementará un 5% del peso del recipiente si la relación H/D es menor de 10, como es el caso de este proyecto.

$$P_{TUB} = 0,05 * P_{ENV} = 0,05 * 191,86 = 9,59 \text{ kg}$$

Como el fondo inferior es de tipo Klopper, el peso del líquido de su interior se calcula con la siguiente expresión:

Como

$$P_{F.INF} = \frac{\pi}{4} * D_d^2 * 8 * t_f$$

Siendo

D_d , diámetro del disco (m) $D_d = 1,2D_0 + 1,7h$

$$D_d = 1,2 * 1,079 + 1,7 * 0,0175 = 1,32 \text{ m}$$

$$P_{F.INF} = \frac{\pi}{4} * 1,32^2 * 8 * 5 = 55,08 \text{ kg}$$

Como fondo superior se usará dos bridas DN500CF, una de vacío que pesa 20 lb (9,07 kg) y una ciega que pesa 60 lb (27,22 kg). Por lo tanto, el peso del fondo superior será:

$$P_{F.SUP} = 9,07 + 27,22 = 36,29 \text{ kg}$$

La suma de todos los pesos calculados anteriormente será:

$$W_T = P_{ENV} + P_{LIQ.ENV} + P_{TUB} + P_{F.INF} + P_{F.SUP}$$

$$W_T = 191,86 + 1304,60 + 9,59 + 55,08 + 36,29$$

$$W_T = 1597,42 \text{ kg}$$

La tensión debida a este peso se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{W_T} = \frac{4W_T * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 1597,42 * 10^2}{\pi(1079^2 - (1069 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{W_T} = 11,14 \text{ kg/cm}^2$$

○ Tensiones admisibles.

▪ Tensión admisible a tracción.

Estos equipos estarán sometidos a una tensión a tracción que en ningún caso podrá ser superior a la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño (51°C).

Esta tensión admisible a la tracción está especificada en el apartado UG-23a del Código ASTM, Sec. VIII, Div.1 para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 316L) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura (E=0,85).

$$\sigma_{TRACCIÓN} = S * E = 935,1 * 0,85$$

$$\sigma_{TRACCIÓN} = 794,84 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

▪ Tensión admisible a compresión.

La máxima tensión a compresión a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

- Tensión admisible a la tracción para E=1

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S * E = 935,1 * 1$$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

- El valor del parámetro B calculado antes para la comprobación del espesor.

$$B = 13300 \text{ psi} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a compresión será $\sigma_{\text{compresión}} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a pandeo.

La máxima tensión a pandeo a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$\frac{1}{3} * \text{Límite elástico} = \frac{1}{3} * 1760 = 586,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$1,05 * 10^5 * \frac{(t - c)}{R_0} = 1,05 * 10^5 * \frac{5 - 1,5}{534,5} = 681,4 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a pandeo será $\sigma_{\text{PANDEO}} = 586,7 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a prueba.

La máxima tensión a prueba a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$0,9 * \text{Límite elástico} = 0,9 * 1760 = 1584 \text{ kg/cm}^2$$

$$0,495 * \text{Carga rotura} = 0,495 * 4800 = 2376 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a prueba será $\sigma_{\text{prueba}} = 1584 \text{ kg/cm}^2$.

- Pruebas hidráulicas.

Los recipientes sometidos a presión deben ser comprobados antes de su puesta en marcha.

- Prueba inicial. El valor de la presión de prueba inicial en la parte superior del recipiente se determinará con la siguiente fórmula:

$$P_i = 1,5 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_i = 1,5 * 3,5 = 5,25 \text{ kg/cm}^2$$

- Prueba periódica. Se requiere una prueba periódica a una presión de:

$$P_p = 1,3 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_p = 1,3 * 3,5 = 4,55 \text{ kg/cm}^2$$

- ❖ Espesor de la envolvente en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_H = \frac{(P_i + (L_x + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_i + (L_x + H) * 10^{-4})}$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestaña) (mm).

H es la altura del fondo superior, que en este caso al ser una tapa plana $H=0$.

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

$$t_H = \frac{(5,25 + 1683 * 10^{-4}) * 1079}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (5,25 + 1683 * 10^{-4})}$$

$$t_H = 2,17 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_H = \frac{(P_p + (L_x + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_p + (L_x + H) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm²).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestaña) (mm).

H es la altura del fondo superior, que en este caso al ser una tapa plana $H=0$.

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

c es el sobre espesor para corrosión.

$$t_H = \frac{(4,55 + 1683 * 10^{-4}) * 1079}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (4,55 + 1683 * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_H = 3,30 \text{ mm}$$

❖ Espesor de fondo inferior en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm²).

h es la altura de la pestaña (mm).

H es la altura del fondo superior, que en este caso al ser una tapa plana H=0.

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

$$t_f = \frac{1,54 * 1079 * (5,25 + (216 + 17,5) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (5,25 + (216 + 17,5) * 10^{-4})}$$

$$t_f = 3,25 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

h es la altura de la pestaña (mm).

H es la altura del fondo superior, que en este caso al ser una tapa plana H=0.

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

c es el sobre-espesor para la corrosión (mm).

$$t_f = \frac{1,54 * 1079 * (4,55 + (216 + 17,5) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (4,55 + (216 + 17,5) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_f = 4,32 \text{ mm}$$

❖ Tensión longitudinal debida a las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_i + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4t}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

$$\sigma_i = \frac{1079 * (5,25 + 1683 * 10^{-4})}{4 * 5} = 289,49 \text{ kg/cm}^2$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_p + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4(t - c)}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

c es el sobre-espesor de corrosión (1,5).

$$\sigma_i = \frac{1079 * (4,55 + 1683 * 10^{-4})}{4 * (5 - 1,5)} = 360,13 \text{ kg/cm}^2$$

3. Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de vino

Para el diseño mecánico de este tanque se tendrán en cuenta las siguientes características del mismo:

$$V_{\text{útil}} = 1,25 \text{ m}^3$$

$$V = 1,44 \text{ m}^3$$

$$H/D = 2$$

$$D = 0,971 \text{ m}$$

$$H = 1,942 \text{ m}$$

$$T \text{ máxima de operación} = 20^\circ \text{ C}$$

$$T \text{ diseño} = 40^\circ \text{ C}$$

P máxima de operación = P atmosférica

P diseño = 3,5 kg/cm²

S = 942,12 kg/cm²

c = 1,5 mm

E = 0,85

3.1. Espesor mínimo de la envolvente

El espesor mínimo será el mayor de los siguientes valores obtenidos por dos métodos diferentes:

- Por especificaciones.

- Según la siguiente expresión:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{971}{1000} + 2,54 + 1,5 = 5,01 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable: t min = 3 mm

- Por tensión circunferencial.

- En función del diámetro exterior (D_0). Se supondrá válido el espesor de 5,01 mm obtenido por las especificaciones para determinar el diámetro exterior

$$t = \frac{P * D_0}{2S * E + 0,8P} + c = \frac{3,5 * (971 + (2 * 5,01))}{(2 * 942,12 * 0,85) + (0,8 * 3,5)} + 1,5$$
$$t = 3,64 \text{ mm}$$

- En función del diámetro interior (D).

$$t = \frac{P * (D + 2c)}{2S * E - 1,2P} + c = \frac{3,5 * (971 + 2 * 1,5)}{(2 * 942,12 * 0,85) - (1,2 * 3,5)} + 1,5$$
$$t = 3,63 \text{ mm}$$

Se toma como válido el mayor de los cuatro valores anteriores. Es decir, el espesor mínimo será 5,01 mm que al normalizarlo se tendrá un espesor de envolvente de 6 mm gobernado por las especificaciones.

Es necesario comprobar si este espesor calculado es válido para soportar los esfuerzos de compresión. Para ello se usa la siguiente expresión:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} = \frac{0,125 * t}{\frac{D}{2} + t} = \frac{0,125 * 6}{485,4 + 6} = 1,53 * 10^{-3}$$

Siendo R_0 el radio exterior de la envolvente (mm). Con este valor de A, el material del equipo (AISI 304L) y la temperatura de diseño (40°C), se obtiene el valor del parámetro B, bien mediante una gráfica o bien, analíticamente con la siguiente expresión:

$$B = \frac{A * E}{2}$$

Donde:

E es el módulo elástico en función de la temperatura,
 $28 * 10^6$ (psi)

B es la tensión de compresión (psi)

$$B = \frac{1,53 * 10^{-3} * 28 * 10^6}{2} = 21366 \text{ psi} = 1502,02 \text{ kg/cm}^2$$

Al ser mayor que la tensión máxima admisible del material (S), el espesor que se calculó anteriormente no es válido.

Para recalcular el espesor, se supone $B=S=13300$ psi

$$13300 = \frac{A * 28 * 10^6}{2} \rightarrow A = \frac{13300 * 2}{28 * 10^6} \rightarrow A = 9,5 * 10^{-4}$$

$$R_0 = 485,4 + t$$

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} \rightarrow 9,5 * 10^{-4} = \frac{0,125}{\frac{485,4 + t}{t}} \rightarrow t = 3,7 \text{ mm}$$

Se debe tomar un espesor normalizado de 4 mm. Con este dato se realizarán los cálculos de las tensiones.

3.2. Espesor de los fondos

De igual forma que para el fermentador, los fondos del tanque de almacenamiento de vino serán fondos toriesféricos del tipo Klopper. En este caso el fondo superior será exactamente igual que el fondo inferior.

El espesor de cada fondo será el mayor de los cuatro espesores calculados a continuación:

- Por especificación.
 - Según la siguiente expresión:

$$t_f = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(mm) = \frac{971 + 2 * 4}{1000} + 2,54 + 1,5$$

$$t_f = 5,02 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable $t_f(\text{min}) = 3\text{mm}$
- Por tensión circunferencial. Se supone como válido el valor obtenido por especificación (5,02 mm) para determinar el radio exterior de la corona (L_0)

$$L_0 = L + t = D_0 + t = 979 + 5,02 = 984 \text{ mm} \quad L_0, \text{ radio exterior corona}$$

$$L = D_0 = D + 2t = 971 + 2 * 4 = 979 \text{ mm} \quad L, \text{ radio interior corona}$$

- Conociendo los radios exteriores

$$t_f = \frac{1,54P * L_0}{2S * E + 1,34P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * 984}{(2 * 942,12 * 0,85) + (1,34 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 4,80 \text{ mm}$$

- Conociendo los radios interiores

$$t_f = \frac{1,54P * (L + c)}{2S * E - 0,2P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * (979 + 1,5)}{(2 * 942,12 * 0,85) - (0,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 4,80 \text{ mm}$$

Se tomará como válido el mayor de los cuatro anteriores. En este caso es el obtenido por especificaciones, 5,02 mm. Al normalizarlo se tendrá como espesor de fondo 6 mm. Este valor también debe comprobarse de la misma manera que el espesor de la envolvente.

Al tratarse del mismo espesor normalizado que la envolvente (6 mm) se comprobará igualmente que no es válido y se llegará el mismo espesor final normalizado que la envolvente, 4 mm.

3.3. Altura de la pestaña

A diferencia del fermentador, el depósito de almacenamiento de vino tendrá dos fondos toriesféricos de tipo Klopper en lugar de uno. Por lo tanto tendrá dos pestañas, una en la parte inferior y otra en la parte superior. Ambas pestañas medirán lo mismo y su valor, h , se determinará por la siguiente expresión:

$$h \geq 3,5 * t_f = 3,5 * 4 = 14 \text{ mm}$$

3.4. Dimensiones reales del tanque

Al principio de este capítulo, se calculó el volumen del tanque de almacenamiento de vino suponiendo que fuera cilíndrico. Ahora se puede calcular las dimensiones reales de este tanque teniendo en cuenta el volumen de la envolvente, de los fondos y de las pestañas.

De igual forma que para el fermentador, el volumen total del tanque de almacenamiento de vino será un 15% superior al volumen útil. Para un volumen útil de trabajo de $1,25 \text{ m}^3$, el volumen total de este equipo deberá ser de $1,44 \text{ m}^3$.

El volumen total puede descomponerse en la suma de los siguientes volúmenes.

$$V_{TOTAL} = V_{ENVOLVENTE} + 2 * V_{FONDO} + 2 * V_{PESTAÑA}$$

Para un fondo tipo Klopper, el volumen del fondo es;

$$V_{FONDO} = 0,1 * D^3 = 0,1 * 0,971^3 \rightarrow V_{FONDO} = 0,092 \text{ m}^3$$

El volumen de la pestaña puede calcularse con la siguiente expresión:

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi * 0,971^2}{4} * 0,014 \rightarrow V_{PESTAÑA} = 0,010 \text{ m}^3$$

Sustituyendo, se calcula el volumen de la envolvente

$$1,44 = V_{ENVOLVENTE} + 2 * 0,092 + 2 * 0,010 \rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 1,234 \text{ m}^3$$

De forma análoga, la altura del depósito de almacenamiento de vino es la suma de las siguientes alturas:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2 * H_{FONDOS} + 2 * H_{PESTAÑA}$$

La altura de la envolvente se puede calcular conocido el volumen de dicha envolvente:

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi * D^2}{4} * H_{ENV} \rightarrow H_{ENV} = \frac{4 * V_{ENVOLVENTE}}{\pi * D^2} = \frac{4 * 1,234}{\pi * 0,971^2}$$

$$H_{ENV} = 1,67 \text{ m}$$

Para un fondo tipo Klopper, la altura de los fondos se calcula de la siguiente forma:

$$H_f = 0,2 * D_0 = 0,2 * 0,971 \rightarrow H_f = 0,196 \text{ m}$$

Por lo tanto,

$$H_{TOTAL} = 1,67 + 2 * 0,196 + 2 * 0,014 \rightarrow H_{TOTAL} = 2,09 \text{ m}$$

En la siguiente tabla se resume las dimensiones reales del depósito de almacenamiento de vino.

ENVOLVENTE	ESPEJOR (mm)	4
	ALTURA (m)	1,67
	VOLUMEN (m³)	1,234
FONDOS	ESPEJOR (mm)	4
	ALTURA (m)	0,196
	VOLUMEN (m³)	0,092
PESTAÑA	ALTURA (mm)	14

	VOLUMEN (m³)	0,014
ALTURA TOTAL (m)		2,09
DIAMETRO INTERIOR (m)		0,971
DIAMETRO EXTERIOR (m)		0,979
VOLUMEN ÚTIL (m³)		1,25
VOLUMEN TOTAL (m³)		1,44

TABLA V.1: Dimensiones reales del depósito de vino

3.5. Patatas de soporte

Al igual que en los equipos anteriores, para el soporte del depósito de almacenamiento de vino se va a usar patas ya que tampoco se da ninguna de las especificaciones mencionadas en el apartado 'Soportes del fermentador' para el uso de faldones.

Las patas deberán sujetar todo el peso del tanque de almacenamiento y para su elección se sigue el código ASTM, Sección VIII. Los datos necesarios para el cálculo de los apoyos son el diámetro exterior del equipo y la longitud entre líneas de tangencia.

El diámetro de situación del eje de los taladros se obtiene de la siguiente ecuación:

$$D_0 - 50 = 979 - 50 = 929 \text{ mm}$$

Según la tabla IV.2 se usarán:

- 4 patas de tipo L, de dimensiones 70x70x10 de acero inoxidable AISI 304L.
- Irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 120x10 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.
- La distancia al eje del taladro (A) será de 40 mm.
- El diámetro de pernos será 20 mm.
- El diámetro de taladros será de 26 mm.

Según la tabla IV.3, al ser la longitud entre líneas de tangencia menor a 1830 mm, la longitud de soldadura (B) será de 150 mm.

3.6. Esfuerzos en recipientes a presión

El tanque de almacenamiento de vino está sometido a las mismas cargas que el fermentador; la presión interna, el peso del recipiente y su contenido y las reacciones estáticas del equipo auxiliar, tuberías, revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos...

Como ya se mencionó anteriormente, no se va a tener en cuenta las cargas debidas a la presión del viento y fuerzas sísmicas.

- Tensión longitudinal

Para calcular la tensión longitudinal se utiliza la siguiente expresión:

$$\sigma_{Pa} = \frac{P (D + 2c)}{4 (t - c)} = \frac{3,5 * (971 + 2 * 1,5)}{4 * (4 - 1,5)}$$

$$\sigma_{Pa} = 340,86 \text{ kg/cm}^2$$

- Pesos y tensiones debidos a estos

El peso del recipiente conlleva un esfuerzo por compresión

- Montaje y parada.

En las etapas de montaje y parada, la compresión es debida al peso de la envolvente sin líquido en su interior. El peso de la envolvente se calcula sabiendo su volumen y la densidad del material.

$$\rho_{ENV} = \frac{P_{ENV}}{V_{ENV}} \rightarrow P_{ENV} = \rho_{ENV} * V_{ENV}$$

Siendo $\rho_{ENV} = 7,85 \text{ kg/dm}^3$

$$V_{ENV} = \frac{\pi (D_0^2 - D^2)}{4} H_{ENV} = \frac{\pi * (9,79^2 - 9,71^2)}{4} * 16,7$$

$$V_{ENV} = 20,42 \text{ dm}^3$$

$$P_{ENV} = 7,85 * 20,42 = 160,26 \text{ kg}$$

Una vez calculado el peso de la envolvente, se puede calcular la tensión debida a este peso usando la siguiente expresión

$$\sigma_{PESO} = \frac{4P_{ENV} * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 160,26 * 10^2}{\pi * (979^2 - (971 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{PESO} = 2,09 \text{ kg/cm}^2$$

▪ Operación.

Cuando el equipo está en funcionamiento, se ejerce una compresión que es debida al peso de la envolvente, al peso del líquido de su interior, al peso de las tuberías y al peso de los fondos.

El peso de la envolvente es 160,26 kg.

El peso del líquido en el interior de la envolvente se calcula de la siguiente forma:

$$P_{LIQ.ENV} = V_{LIQ.ENV} * \rho_{LIQ.ENV}$$

La densidad del vino a 20°C es, $\rho_{vinoP.X} = 1100 \text{ kg/m}^3$

El volumen de líquido que ocupa el vinagre en el interior de la envolvente es:

$$V_{LIQ.ENV} = \pi \frac{D^2}{4} H_{ENV} = \pi \frac{971^2}{4} * 1,67 = 1,234 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el peso del líquido en el interior de la envolvente será:

$$P_{LIQ.ENV} = 1,234 * 1100 = 1357,12 \text{ kg}$$

Para tener en cuenta el peso de las tuberías, se incrementará un 5% del peso del recipiente si la relación H/D es menor de 10, como es el caso de este proyecto.

$$P_{TUB} = 0,05 * P_{ENV} = 0,05 * 160,26 = 8,01 \text{ kg}$$

Como los fondos son de tipo Klopper, el peso del líquido de su interior se calcula con la siguiente expresión:

Como

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * D_d^2 * 8 * t_f$$

Siendo

D_d , diámetro del disco (m) $D_d = 1,2D_0 + 1,7h$

$$D_d = 1,2 * 0,979 + 1,7 * 0,014 = 1,20 \text{ m}$$

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * 1,20^2 * 8 * 4 = 36,10 \text{ kg}$$

La suma de todos los pesos calculados anteriormente será:

$$W_T = P_{ENV} + P_{LIQ.ENV} + P_{TUB} + 2 * P_{FONDOS}$$

$$W_T = 160,26 + 1357,12 + 8,01 + 2 * 36,10$$

$$W_T = 1597,59 \text{ kg}$$

La tensión debida a este peso se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{W_T} = \frac{4W_T * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 1597,59 * 10^2}{\pi(979^2 - (971 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{W_T} = 16,04 \text{ kg/cm}^2$$

○ Tensiones admisibles.

▪ Tensión admisible a tracción.

La tensión a tracción a la que está sometido el equipo en ningún caso podrá ser superior a la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño (40°C).

Esta tensión admisible a la tracción está especificada en el apartado UG-23a del Código ASTM, Sec. VIII, Div.1 para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 304L) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura ($E=0,85$).

$$\sigma_{TRACCIÓN} = S * E = 942,12 * 0,85$$

$$\sigma_{TRACCIÓN} = 800,802 \text{ kg/cm}^2$$

- Tensión admisible a compresión.

La máxima tensión a compresión a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

- Tensión admisible a la tracción para $E=1$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S * E = 942,12 * 1$$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = 942,12 \text{ kg/cm}^2$$

- El valor del parámetro B calculado antes para la comprobación del espesor.

$$B = 13300 \text{ psi} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a compresión será $\sigma_{compresión} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a pandeo.

La máxima tensión a pandeo a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$\frac{1}{3} * \text{Límite elástico} = \frac{1}{3} * 1760 = 586,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$1,05 * 10^5 * \frac{(t - c)}{R_0} = 1,05 * 10^5 * \frac{(4 - 1,5)}{489,4} = 536,3 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a pandeo será $\sigma_{PANDEO} = 536,3 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a prueba.

La máxima tensión a prueba a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$0,9 * \text{Límite elástico} = 0,9 * 1760 = 1584 \text{ kg/cm}^2$$

$$0,495 * \text{Carga rotura} = 0,495 * 4800 = 2376 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a prueba será $\sigma_{\text{prueba}} = 1584 \text{ kg/cm}^2$.

○ Pruebas hidráulicas

Todo recipiente a presión deberá ser comprobado antes de su puesta en marcha.

- Prueba inicial. El valor de la presión de prueba inicial en la parte superior del recipiente se determinará con la siguiente fórmula:

$$P_i = 1,5 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_i = 1,5 * 3,5 = 5,25 \text{ kg/cm}^2$$

- Prueba periódica. Se requiere una prueba periódica a una presión de:

$$P_p = 1,3 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_p = 1,3 * 3,5 = 4,55 \text{ kg/cm}^2$$

- ❖ Espesor de la envolvente en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_H = \frac{(P_i + (L_x + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_i + (L_x + H) * 10^{-4})}$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm²).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestañas) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

$$t_H = \frac{(5,25 + (1890 + 196) * 10^{-4}) * 979}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (5,25 + (1890 + 196) * 10^{-4})}$$

$$t_H = 1,98 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_H = \frac{(P_p + (L_x + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_p + (L_x + H) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm²).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestañas) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

c es el sobre espesor para corrosión.

$$t_H = \frac{(4,55 + (1890 + 196) * 10^{-4}) * 979}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (4,55 + (1890 + 197) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_H = 3,23 \text{ mm}$$

- ❖ Espesor de fondo inferior en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm²).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

$$t_f = \frac{1,54 * 979 * (5,25 + (2 * 196 + 2 * 14) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (5,25 + (2 * 196 + 2 * 14) * 10^{-4})}$$

$$t_f = 2,96 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm²).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior, que en este caso al ser una tapa plana $H=0$.

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).
 c es el sobre-espesor para la corrosión (mm).

$$t_f = \frac{1,54 * 979 * (4,55 + (2 * 196 + 2 * 14) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (4,55 + (2 * 196 + 2 * 14) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_f = 4,07 \text{ mm}$$

❖ Tensión longitudinal debida a las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_i + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4t}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

$$\sigma_i = \frac{971 * (5,25 + 2086 * 10^{-4})}{4 * 4} = 331,23 \text{ kg/cm}^2$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_p + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4(t - c)}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

c es el sobre-espesor de corrosión (1,5).

$$\sigma_i = \frac{971 * (4,55 + 2086 * 10^{-4})}{4 * (4 - 1,5)} = 462,00 \text{ kg/cm}^2$$

4. Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de mosto

Para el diseño mecánico del tanque de almacenamiento del mosto se tendrán en cuenta las siguientes características:

$$V_{\text{útil}} = 3,25 \text{ m}^3$$

$$V = 3,75 \text{ m}^3$$

$$H/D = 2$$

$$D = 1,34 \text{ m}$$

$$H = 2,67 \text{ m}$$

$$T \text{ máxima de operación} = 20^\circ \text{ C}$$

$$T \text{ diseño} = 40^\circ \text{ C}$$

$$P \text{ máxima de operación} = P \text{ atmosférica}$$

$$P \text{ diseño} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1,5 \text{ mm}$$

$$E = 0,85$$

4.1. Espesor mínimo de la envolvente

El espesor mínimo será el mayor de los siguientes valores obtenidos por dos métodos diferentes:

- Por especificaciones.
 - Según la siguiente expresión:
$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{1335}{1000} + 2,54 + 1,5 = 4,38 \text{ mm}$$
 - Para recipientes de acero inoxidable: $t \text{ min} = 3 \text{ mm}$
- Por tensión circunferencial.
 - En función del diámetro exterior (D_0). Se supondrá válido el espesor de 4,38 mm obtenido por las especificaciones para determinar el diámetro exterior

$$t = \frac{P * D_0}{2S * E + 0,8P} + c = \frac{3,5 * (1335 + (2 * 4,38))}{(2 * 935,1 * 0,85) + (0,8 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 4,45 \text{ mm}$$

- En función del diámetro interior (D).

$$t = \frac{P * (D + 2c)}{2S * E - 1,2P} + c = \frac{3,5 * (1335 + 2 * 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (1,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 4,45 \text{ mm}$$

Se toma como válido el mayor de los cuatro valores anteriores. Es decir, el espesor mínimo será 4,45 mm que al normalizarlo se tendrá un espesor de envoltente de 5 mm.

Es necesario comprobar si este espesor calculado es válido para soportar los esfuerzos de compresión. Para ello se usa la siguiente expresión:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} = \frac{0,125 * t}{\frac{D}{2} + t} = \frac{0,125 * 5}{667,5 + 5} = 9,3 * 10^{-4}$$

Siendo R_0 el radio exterior de la envoltente (mm). Con este valor de A, el material del equipo (AISI 316L) y la temperatura de diseño (40°C), se obtiene el valor del parámetro B, bien mediante una gráfica o bien, analíticamente con la siguiente expresión:

$$B = \frac{A * E}{2}$$

Donde:

E es el módulo elástico en función de la temperatura,
 $28 * 10^6$ (psi)

B es la tensión de compresión (psi)

$$B = \frac{9,3 * 10^{-4} * 28 * 10^6}{2} = 13011 \text{ psi} = 914,67 \text{ kg/cm}^2$$

Al ser menor que la tensión máxima admisible del material (S), el espesor calculado es válido.

4.2. Espesor de los fondos

Los fondos del tanque de almacenamiento de mosto serán también fondos toriesféricos del tipo Kloppe, siendo exactamente igual el fondo superior que el inferior.

El espesor de cada fondo será el mayor de los cuatro espesores calculados a continuación:

- Por especificación
 - Según la siguiente expresión:

$$t_f = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(mm) = \frac{1335 + 2 * 5}{1000} + 2,54 + 1,5$$

$$t_f = 5,39 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable $t_f(\text{min}) = 3\text{mm}$
- Por tensión circunferencial. Se supone como válido el valor obtenido por especificación (5,39 mm) para determinar el radio exterior de la corona (L_0)

$$L_0 = L + t = D_0 + t = 1335 + 5,39 = 1340,39 \text{ mm} \quad L_0, \text{ radio exterior corona}$$

$$L = D_0 = D + 2t = 1335 + 2 * 5 = 1345 \text{ mm} \quad L, \text{ radio interior corona}$$

- Conociendo los radios exteriores

$$t_f = \frac{1,54P * L_0}{2S * E + 1,34P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * 1340,39}{(2 * 935,1 * 0,85) + (1,34 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 6,07 \text{ mm}$$

- Conociendo los radios interiores

$$t_f = \frac{1,54P * (L + c)}{2S * E - 0,2P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * (1345 + 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (0,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 6,07 \text{ mm}$$

Se tomará como válido el mayor de los cuatro anteriores. En este caso es 6,07 mm. Al normalizarlo se tendrá como espesor de fondo 7 mm. Este valor debe comprobarse para saber si es válido o no.

Es necesario comprobar si este espesor calculado es válido para soportar los esfuerzos de compresión. Para ello se usa la siguiente expresión:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} = \frac{0,125 * t}{\frac{D}{2} + t} = \frac{0,125 * 7}{667,5 + T} = 1,30 * 10^{-3}$$

Siendo R_0 el radio exterior de la envolvente (mm). Con este valor de A, el material del equipo (AISI 304L) y la temperatura de diseño (40°C), se obtiene el valor del parámetro B, bien mediante una gráfica o bien, analíticamente con la siguiente expresión:

$$B = \frac{A * E}{2}$$

Donde:

E es el módulo elástico en función de la temperatura,
 $28 * 10^6$ (psi)

B es la tensión de compresión (psi)

$$B = \frac{1,30 * 10^{-3} * 28 * 10^6}{2} = 18161 \text{ psi} = 1276,74 \text{ kg/cm}^2$$

Al ser mayor que la tensión máxima admisible del material (S), el espesor calculado no es válido.

Para recalcular el espesor, se supone $B=S=13300$ psi

$$13300 = \frac{A * 28 * 10^6}{2} \rightarrow A = \frac{13300 * 2}{28 * 10^6} \rightarrow A = 9,5 * 10^{-4}$$

$$R_0 = 667,5 + t$$

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} \rightarrow 9,5 * 10^{-4} = \frac{0,125}{\frac{667,5 + t}{t}} \rightarrow t = 5,11 \text{ mm}$$

Se debe tomar un espesor normalizado de 6 mm. Con este dato se realizarán los cálculos de las tensiones.

4.3. Altura de la pestaña

El tanque de almacenamiento de mosto también tendrá dos fondos toriesféricos de tipo Klopper. Por lo tanto también tendrá dos pestañas, una en la parte inferior y otra en la parte superior. Ambas pestañas medirán lo mismo y su valor, h , se determinará por la siguiente expresión:

$$h \geq 3,5 * t_f = 3,5 * 6 = 21 \text{ mm}$$

4.4. Dimensiones reales del tanque

Al principio de este capítulo, se calculó el volumen de este tanque suponiendo que fuera cilíndrico. Ahora se puede calcular las dimensiones reales de este tanque teniendo en cuenta el volumen de la envolvente, el de los fondos y el de las pestañas.

Como anteriormente se ha mencionado, el volumen total del será un 15% superior al volumen útil. Para un volumen útil de trabajo de $3,25 \text{ m}^3$, el volumen total de este equipo deberá ser de $3,75 \text{ m}^3$.

El volumen total puede descomponerse en la suma de los siguientes volúmenes:

$$V_{TOTAL} = V_{ENVOLVENTE} + 2 * V_{FONDO} + 2 * V_{PESTAÑA}$$

Para un fondo tipo Klopper, el volumen del fondo es:

$$V_{FONDO} = 0,1 * D^3 = 0,1 * 1335^3 \rightarrow V_{FONDO} = 0,238 \text{ m}^3$$

El volumen de la pestaña puede calcularse con la siguiente expresión:

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi * 1335^2}{4} * 0,021 \rightarrow V_{PESTAÑA} = 0,029 \text{ m}^3$$

Sustituyendo, se calcula el volumen de la envolvente

$$3,75 = V_{ENVOLVENTE} + 2 * 0,238 + 2 * 0,029 \rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 3,203 \text{ m}^3$$

De forma análoga, la altura del depósito de almacenamiento de mosto es la suma de las siguientes alturas:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2 * H_{FONDO} + 2 * H_{PESTAÑA}$$

La altura de la envolvente se puede calcular conocido el volumen de dicha envolvente.

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi * D^2}{4} * H_{ENV} \rightarrow H_{ENV} = \frac{4 * V_{ENVOLVENTE}}{\pi * D^2} = \frac{4 * 3,203}{\pi * 1,335^2}$$

$$H_{ENV} = 2,29 \text{ m}$$

Para un fondo tipo Klopper, la altura de los fondos se calcula de la siguiente forma:

$$H_f = 0,2 * D_0 = 0,2 * 1,347 \rightarrow H_f = 0,269 \text{ m}$$

Por lo tanto,

$$H_{TOTAL} = 2,29 + 2 * 0,269 + 2 * 0,021 \rightarrow H_{TOTAL} = 2,869 \text{ m}$$

En la siguiente tabla se resume las dimensiones reales del depósito de almacenamiento de mosto.

ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	5
	ALTURA (m)	2,29
	VOLUMEN (m³)	3,203
FONDOS	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0,269
	VOLUMEN (m³)	0,238
PESTAÑA	ALTURA (mm)	21
	VOLUMEN (m³)	0,029
ALTURA TOTAL (m)		2,869
DIAMETRO INTERIOR (m)		1,335
DIAMETRO EXTERIOR (m)		1,345
VOLUMEN ÚTIL (m³)		3,25
VOLUMEN TOTAL (m³)		3,75

TABLA VI.1: Dimensiones reales del depósito de mosto

4.5. Patatas de soporte

Para el soporte de este equipo también se va a usar patas porque tampoco se da ninguna de las especificaciones mencionadas en el apartado 'Soportes del fermentador' para el uso de faldones.

Las patas deberán sujetar todo el peso del tanque de almacenamiento y para su elección se sigue el código ASTM, Sección VIII. Los datos necesarios para el cálculo de los apoyos son el diámetro exterior del equipo y la longitud entre líneas de tangencia.

El diámetro de situación del eje de los taladros se obtiene de la siguiente ecuación:

$$D_0 - 50 = 1347 - 50 = 1297 \text{ mm}$$

Según la tabla IV.2, se usarán:

- 4 patas de tipo L, de dimensiones 80x80x10 de acero inoxidable AISI 316L.
- Irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 150x12 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.
- La distancia al eje del taladro (A) será de 45 mm
- El diámetro de pernos será 20 mm
- El diámetro de taladros será de 26 mm

Según la tabla IV.3, al ser la longitud entre líneas de tangencia menor a 1830 mm, la longitud de soldadura (B) será de 150 mm.

4.6. Esfuerzos en recipientes a presión

El tanque de almacenamiento de mosto está sometido a las mismas cargas que los demás equipos:

- La presión interna
- El peso del recipiente y su contenido
- Las reacciones estáticas del equipo auxiliar, tuberías, revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos...

De igual forma, no se va a tener en cuenta las cargas debidas a la presión del viento y fuerzas sísmicas.

- Tensión longitudinal.

Para calcular la tensión longitudinal se utiliza la siguiente expresión:

$$\sigma_{Pa} = \frac{P (D + 2c)}{4 (t - c)} = \frac{3,5 * (1335 + 2 * 1,5)}{4 * (6 - 1,5)}$$

$$\sigma_{Pa} = 260,17 \text{ kg/cm}^2$$

- Pesos y tensiones debidos a estos.

El peso del recipiente conlleva un esfuerzo por compresión

- Montaje y parada.

En las etapas de montaje y parada, la compresión es debida al peso de la envolvente sin líquido en su interior. El peso de la envolvente se calcula sabiendo su volumen y la densidad del material.

$$\rho_{ENV} = \frac{P_{ENV}}{V_{ENV}} \rightarrow P_{ENV} = \rho_{ENV} * V_{ENV}$$

Siendo $\rho_{ENV} = 7,85 \text{ kg/dm}^3$

$$V_{ENV} = \frac{\pi (D_0^2 - D^2)}{4} H_{ENV} = \frac{\pi * (13,47^2 - 13,35^2)}{4} * 22,9$$

$$V_{ENV} = 57,84 \text{ dm}^3$$

$$P_{ENV} = 7,85 * 57,84 = 454,02 \text{ kg}$$

Una vez calculado el peso de la envolvente, se puede calcular la tensión debida a este peso usando la siguiente expresión

$$\sigma_{PESO} = \frac{4P_{ENV} * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 454,02 * 10^2}{\pi * (1347^2 - (1335 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{PESO} = 2,39 \text{ kg/cm}^2$$

▪ Operación.

Cuando el equipo está en funcionamiento, se ejerce una compresión que es debida al peso de la envolvente, al peso del líquido de su interior, al peso de las tuberías y al peso de los fondos.

El peso de la envolvente es 454,02 kg.

El peso del líquido en el interior de la envolvente se calcula de la siguiente forma:

$$P_{LIQ.ENV} = V_{LIQ.ENV} * \rho_{LIQ.ENV}$$

La densidad del mosto a 20°C es, $\rho_{MOSTO} = 1000 \text{ kg/m}^3$

El volumen de líquido que ocupa el vinagre en el interior de la envolvente es:

$$V_{LIQ.ENV} = \pi \frac{D^2}{4} H_{ENV} = \pi \frac{1,335^2}{4} * 2,29 = 3,20 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el peso del líquido en el interior de la envolvente será:

$$P_{LIQ.ENV} = 3,20 * 1000 = 3202,84 \text{ kg}$$

Para tener en cuenta el peso de las tuberías, se incrementará un 5% del peso del recipiente si la relación H/D es menor de 10, como es el caso de este proyecto.

$$P_{TUB} = 0,05 * P_{ENV} = 0,05 * 454,02 = 22,70 \text{ kg}$$

Como los fondos son de tipo Klopper, el peso del líquido de su interior se calcula con la siguiente expresión:

Como

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * D_d^2 * 8 * t_f$$

Siendo

D_d , diámetro del disco (m) $D_d = 1,2D_0 + 1,7h$

$D_d = 1,2 * 1,347 + 1,7 * 0,021 = 1,65 \text{ m}$

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * 1,65^2 * 8 * 6 = 102,90 \text{ kg}$$

La suma de todos los pesos calculados anteriormente será:

$$W_T = P_{ENV} + P_{LIQ.ENV} + P_{TUB} + 2 * P_{FONDOS}$$

$$W_T = 454,02 + 3202,84 + 22,70 + 2 * 102,90$$

$$W_T = 3885,36 \text{ kg}$$

La tensión debida a este peso se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{W_T} = \frac{4W_T * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 3885,36 * 10^2}{\pi(1347^2 - (1335 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{W_T} = 17,56 \text{ kg/cm}^2$$

○ Tensiones admisibles

▪ Tensión admisible a tracción.

La tensión a tracción a la que está sometido el equipo en ningún caso podrá ser superior a la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño (40°C).

Esta tensión admisible a la tracción está especificada en el apartado UG-23a del Código ASTM, Sec. VIII, Div.1 para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 316L) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura (E=0,85).

$$\sigma_{TRACCIÓN} = S * E = 935,1 * 0,85$$

$$\sigma_{TRACCIÓN} = 794,84 \text{ kg/cm}^2$$

- Tensión admisible a compresión.

La máxima tensión a compresión a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

- Tensión admisible a la tracción para $E=1$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S * E = 935,1 * 1$$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

- El valor del parámetro B calculado antes para la comprobación del espesor.

$$B = 13300 \text{ psi} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a compresión será $\sigma_{compresión} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a pandeo.

La máxima tensión a pandeo a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$\frac{1}{3} * \text{Límite elástico} = \frac{1}{3} * 1760 = 586,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$1,05 * 10^5 * \frac{(t - c)}{R_0} = 1,05 * 10^5 * \frac{(6 - 1,5)}{673,5} = 701,55 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a pandeo será $\sigma_{PANDEO} = 586,67 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a prueba.

La máxima tensión a prueba a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$0,9 * \text{Límite elástico} = 0,9 * 1760 = 1584 \text{ kg/cm}^2$$

$$0,495 * \text{Carga rotura} = 0,495 * 4800 = 2376 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a prueba será $\sigma_{\text{prueba}} = 1584 \text{ kg/cm}^2$.

○ Pruebas hidráulicas

Todo recipiente a presión deberá ser comprobado antes de su puesta en marcha.

- Prueba inicial. El valor de la presión de prueba inicial en la parte superior del recipiente se determinará con la siguiente fórmula:

$$P_i = 1,5 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_i = 1,5 * 3,5 = 5,25 \text{ kg/cm}^2$$

- Prueba periódica. Se requiere una prueba periódica a una presión de:

$$P_p = 1,3 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_p = 1,3 * 3,5 = 4,55 \text{ kg/cm}^2$$

- ❖ Espesor de la envolvente en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_H = \frac{(P_i + (L_x + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_i + (L_x + H) * 10^{-4})}$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm²).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestañas) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

$$t_H = \frac{(5,25 + (2599 + 269) * 10^{-4}) * 1347}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (5,25 + (2599 + 269) * 10^{-4})}$$

$$t_H = 2,77 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_H = \frac{(P_p + (L_x + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_p + (L_x + H) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm²).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestaña) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

c es el sobre espesor para corrosión.

$$t_H = \frac{(4,55 + (2599 + 269) * 10^{-4}) * 1347}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (4,55 + (2599 + 269) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_H = 3,92 \text{ mm}$$

- ❖ Espesor de fondo inferior en función de las presiones de prueba.

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm²).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

$$t_f = \frac{1,54 * 1347 * (5,25 + (2 * 269 + 2 * 21) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (5,25 + (2 * 269 + 2 * 21) * 10^{-4})}$$

$$t_f = 4,09 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm²).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior.

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

c es el sobre-espesor para la corrosión (mm).

$$t_f = \frac{1,54 * 1347 * (4,55 + (2 * 269 + 2 * 21) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (4,55 + (2 * 269 + 2 * 21) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_f = 5,05 \text{ mm}$$

- ❖ Tensión longitudinal debida a las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_i + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4t}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

$$\sigma_i = \frac{1335 * (5,25 + 2869 * 10^{-4})}{4 * 6} = 307,99 \text{ kg/cm}^2$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_p + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4(t - c)}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

c es el sobre-espesor de corrosión (1,5).

$$\sigma_i = \frac{1335 * (4,55 + 2869 * 10^{-4})}{4 * (6 - 1,5)} = 358,74 \text{ kg/cm}^2$$

5. Diseño mecánico del evaporador

Se necesita concentrar una corriente de mosto al doble. Para ello se alimentan 45 L/h de mosto a 20°C en un evaporador de doble efecto que opera en contracorriente. El vapor vivo utilizado en el primer efecto es saturado a 2,5 atm manteniéndose la cámara de evaporación del segundo efecto a una presión de 0,2 atm.

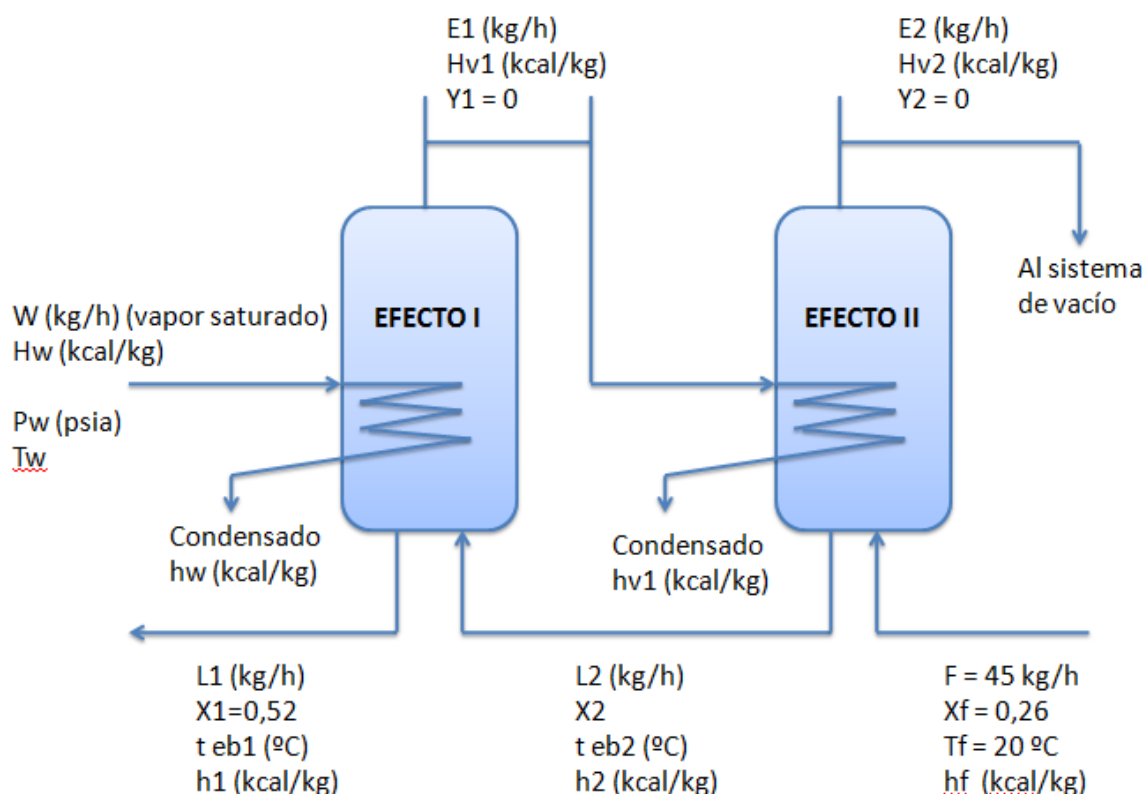
En la siguiente tabla se recoge las propiedades del vapor saturado de agua:

$P_w = 2,5 \text{ atm}$ $P_w = 2,452 \text{ mbar}$	$P_2 = 0,2 \text{ atm}$ $P_2 = 196 \text{ mbar}$
$T = 126,8 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{e2} = 59,7 \text{ }^\circ\text{C}$
$h_w = 533 \text{ kJ/kg}$	$h_{v2} = 250 \text{ kJ/kg}$
$H_w = 2716 \text{ kJ/kg}$	$H_{v2} = 2609 \text{ kJ/kg}$
$\Lambda_w = 2183 \text{ kJ/kg}$	$\Lambda_w = 2359 \text{ kJ/kg}$

En el primer efecto se va a producir un aumento del punto de ebullición de 5°C, mientras que en el segundo será despreciable.

Los coeficientes globales de transmisión de calor del primer y segundo efectos son respectivamente 2500 y 800 W/(m²*°C).

En la siguiente imagen se representa un esquema del evaporador de doble efecto.



Los balances de materia y energía globales y de cada efecto se recogen en la siguiente tabla:

BALANCE GLOBAL	B. masa	$F = L_1 + E_1 + E_2$
	B. sólidos	$F * X_F = L_1 * X_1$
BALANCE EFECTO 1	B. masa	$L_2 = L_1 + E_1$
	B. energía	$W * H_W + L_2 * h_2 = E_1 * H_{V1} + L_1 * h_1 + W * h_W$
BALANCE EFECTO 2	B. masa	$F = L_2 + E_2$
	B. energía	$E_1 * H_{V1} + F * h_F = E_2 * H_{V2} + L_2 * h_2 + E_1 * h_{V1}$

La corriente de alimentación tiene un contenido de azúcar de 240g/L, lo que corresponde con una fracción molar de $x_F = 0,26$. Como esta corriente de mosto se concentrará al doble, la corriente de salida del evaporador L_1 , tendrá una fracción molar de $x_1 = 0,52$.

Con el balance global de sólidos puede calcularse el caudal másico de la corriente de salida del evaporador:

$$F * x_F = L_1 * x_1$$

$$L_1 = \frac{45 * 0,26}{0,52} = 22,5 \text{ kg/h}$$

Con el balance de materia global se puede calcularse la cantidad total de agua a evaporarse entre los dos efectos:

$$45 = 22,5 + E_1 + E_2$$

$$E_1 + E_2 = 22,5 \text{ kg/h}$$

Inicialmente se supone $E_1 = E_2$, por lo tanto $E_1 = E_2 = 11,25 \text{ kg/h}$

Con el balance de materia al efecto 2 se puede calcular la corriente de salida de este efecto:

$$L_2 = F - E_2 \qquad L_2 = 45 - 11,25 \qquad L_2 = 33,75 \text{ kg/h}$$

$$X_2 = \frac{F * X_F}{L_2} \qquad X_2 = \frac{45 * 0,26}{33,75} \qquad X_2 = 0,35$$

El calor específico de cada corriente se calcula según el valor de °Brix de cada una de ellas según el anexo II.

- La corriente de alimentación del evaporador (F) tiene un contenido en azúcar de 240 g/L, lo que corresponde con 14°Be. Estos grados Baume convertidos a grados Brix resultan ser 25,53°Brix (anexo I). El calor específico de esta corriente será 0,87 kcal/kg·°C (3,64 kJ/kg·°C).
- La corriente de salida del evaporador (L_1) tiene un contenido en azúcar de 480 g/L, lo que corresponde con 28°Be. Estos grados Baume convertidos a grados Brix resultan ser 56,05°Brix (anexo I). El calor específico de esta corriente será 0,72 kcal/kg·°C (3,02 kJ/kg·°C).
- La corriente intermedia de salida del efecto 2 tiene una fracción molar de 0,35. Esto corresponde con un contenido en azúcar de 318 g/L, que a su vez corresponde con 18,5°Be y 35,4°Brix (anexo I). El calor específico de esta corriente será 0,82 kcal/kg·°C (3,43 kJ/kg·°C).

Dado que en el segundo efecto no se produce incremento del punto de ebullición, la temperatura en el efecto 2 será $T_2 = T_{eb2} = 59,7^{\circ}\text{C}$.

Se supone que las áreas y los caudales de calor transmitidos a través de estas áreas de intercambio son iguales en los dos efectos, cumpliéndose:

$$\frac{Q}{A} = \frac{T - t_{e2} - \Delta T_{e1}}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2}} = \frac{126,8 - 59,7 - 5}{\frac{1}{2500} + \frac{1}{800}} = 37636,4 \text{ W/m}^2$$

La temperatura en el efecto 1 se obtiene a partir de la ecuación de velocidad de transferencia de calor en el segundo efecto.

$$\frac{Q}{A} = U_2(T_{e1} - t_2)$$

$$37636,4 = 800 * (T_{e1} - 59,7) \quad T_{e1} = 106,9^{\circ}\text{C}$$

La temperatura de ebullición en el primer efecto será de:

$$T_{eb1} = 106,9 + 5 = 111,9^{\circ}\text{C}$$

Con la temperatura en el primer efecto es posible saber las propiedades del vapor de agua saturado a partir de las tablas de vapor saturado:

- $T_{e1} = 106,9^{\circ}\text{C}$
 - $P_1 = 120,9 \text{ kPa}$
 - $H_{v1} = 440,28 \text{ kJ/kg}$
 - $H_{v1} = 2683,4 \text{ kJ/kg}$
 - $\Lambda_{v1} = 2243,1 \text{ kJ/kg}$

Aplicando los balances entálpicos a los dos efectos:

- Primer efecto:

$$W * H_W + L_2 * h_2 = E_1 * H_{V1} + L_1 * h_1 + W * h_W$$

$$W * \lambda_w = E_1 * H_{V1} + L_1 * h_1 - L_2 * h_2$$

$$2183 * W = E_1 * 2683,4 + 22,5 * 3,02 * (111,9 - 106,9) - 3,43 * 33,75 * (59,7 - 106,9)$$

$$2183 * W = 2683,4 * E_1 + 5803,74$$

- Segundo efecto:

$$E_1 * H_{V1} + F * h_F = E_2 * H_{V2} + L_2 * h_2 + E_1 * h_{V1}$$

$$E_1 * \lambda_1 = E_2 * H_{V2} + L_2 * h_2 - F * h_F$$

$$2243,1 * E_1 = 2359 * E_2 + 3,43 * 33,75 * (59,7 - 106,9) - 3,64 * 45 * (20 - 59,7)$$

$$2243,1 * E_1 = 2359 * E_2 + 1038,87$$

- Con las ecuaciones de los balances:

$$L_2 = 45 - E_2$$

$$E_1 + E_2 = 22,5 \text{ kg/h}$$

Se tiene un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas, que al resolverlo se obtiene los siguientes resultados:

$$W = 17,11 \text{ kg/h}$$

$$L_2 = 34,26 \text{ kg/h}$$

$$E_1 = 11,76 \text{ kg/h}$$

$$E_2 = 10,74 \text{ kg/h}$$

A partir de las ecuaciones de velocidad de transmisión de calor a través de las áreas es posible obtener el valor de las mismas.

- Primer efecto:

$$W(\text{kg/s}) * \lambda_w(\text{kJ/kg}) = U_1(\text{kW/m}^2\text{°C}) * A_1(\text{m}^2) * (T_{2,5\text{atm}} - T_{eb1})$$

$$\frac{17,11}{3600} * 2183 = 2,500 * A_1 * (126,8 - 111,9)$$

$$A_1 = 0,28 \text{ m}^2$$

- Segundo efecto:

$$E_1(\text{kg/s}) * \lambda_{v1}(\text{kJ/kg}) = U_2(\text{kW/m}^2\text{°C}) * A_2(\text{m}^2) * (T_{e1} - T_{0,2\text{atm}})$$

$$\frac{11,76}{3600} * 2268,7 = 0,8 * A_2 * (106,9 - 59,7)$$

$$A_2 = 0,20m^2$$

6. Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de mosto concentrado

Para el diseño mecánico del tanque de almacenamiento del mosto concentrado se tendrán en cuenta las siguientes características:

$$V_{\text{útil}} = 2 \text{ m}^3$$

$$V = 2,33 \text{ m}^3$$

$$H/D = 2$$

$$D = 1,14 \text{ m}$$

$$H = 2,27 \text{ m}$$

$$T \text{ máxima de operación} = 20^\circ \text{ C}$$

$$T \text{ diseño} = 40^\circ \text{ C}$$

$$P \text{ máxima de operación} = P \text{ atmosférica}$$

$$P \text{ diseño} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1,5 \text{ mm}$$

$$E = 0,85$$

6.1. Espesor mínimo de la envolvente

El espesor mínimo será el mayor de los siguientes valores obtenidos por dos métodos diferentes:

- Por especificaciones.
 - Según la siguiente expresión:
$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{1136}{1000} + 2,54 + 1,5 = 5,18 \text{ mm}$$
 - Para recipientes de acero inoxidable: $t_{\text{min}} = 3 \text{ mm}$
- Por tensión circunferencial.
 - En función del diámetro exterior (D_0). Se supondrá válido el espesor de 5,18 mm obtenido por las especificaciones para determinar el diámetro exterior

$$t = \frac{P * D_0}{2S * E + 0,8P} + c = \frac{3,5 * (1136 + (2 * 5,18))}{(2 * 942,12 * 0,85) + (0,8 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 4,02 \text{ mm}$$

- En función del diámetro interior (D).

$$t = \frac{P * (D + 2c)}{2S * E - 1,2P} + c = \frac{3,5 * (1136 + 2 * 1,5)}{(2 * 942,12 * 0,85) - (1,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 4,01 \text{ mm}$$

Se toma como válido el mayor de los cuatro valores anteriores. Es decir, el espesor mínimo será 5,18 mm que al normalizarlo se tendrá un espesor de envoltente de 6 mm.

Es necesario comprobar si este espesor calculado es válido para soportar los esfuerzos de compresión. Para ello se usa la siguiente expresión:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} = \frac{0,125 * t}{\frac{D}{2} + t} = \frac{0,125 * 6}{568 + 6} = 1,31 * 10^{-3}$$

Siendo R_0 el radio exterior de la envoltente (mm). Con este valor de A, el material del equipo (AISI 316L) y la temperatura de diseño (40°C), se obtiene el valor del parámetro B, bien mediante una gráfica o bien, analíticamente con la siguiente expresión:

$$B = \frac{A * E}{2}$$

Donde:

E es el módulo elástico en función de la temperatura,
28*10⁶(psi)

B es la tensión de compresión (psi)

$$B = \frac{1,31 * 10^{-3} * 28 * 10^6}{2} = 18300 \text{ psi} = 1286,49 \text{ kg/cm}^2$$

Al ser mayor que la tensión máxima admisible del material (S), el espesor calculado no es válido.

Para recalcular el espesor, se supone $B=S=13300$ psi

$$13300 = \frac{A * 28 * 10^6}{2} \rightarrow A = \frac{13300 * 2}{28 * 10^6} \rightarrow A = 9,5 * 10^{-4}$$

$$R_0 = 542 + t$$

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} \rightarrow 9,5 * 10^{-4} = \frac{0,125}{\frac{568 + t}{t}} \rightarrow t = 4,35 \text{ mm}$$

Se debe tomar un espesor normalizado de 5 mm. Con este dato se realizarán los cálculos de las tensiones.

6.2. Espesor de los fondos

Los fondos del tanque de almacenamiento de mosto concentrado serán también fondos toriesféricos del tipo Klopper, siendo exactamente igual el fondo superior que el inferior.

El espesor de cada fondo será el mayor de los cuatro espesores calculados a continuación:

- Por especificación.
 - Según la siguiente expresión:

$$t_f = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(mm) = \frac{1136 + 2 * 5}{1000} + 2,54 + 1,5$$

$$t_f = 5,19 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable $t_f(\text{min}) = 3\text{mm}$
- Por tensión circunferencial. Se supone como válido el valor obtenido por especificación (5,19 mm) para determinar el radio exterior de la corona (L_0)

$$L_0 = L + t = D_0 + t = 1146 + 5,19 = 1151 \text{ mm} \quad L_0, \text{ radio exterior corona}$$

$$L = D_0 = D + 2t = 1136 + 2 * 5 = 1146 \text{ mm} \quad L, \text{ radio interior corona.}$$

- Conociendo los radios exteriores

$$t_f = \frac{1,54P * L_0}{2S * E + 1,34P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * 1151}{(2 * 935,1 * 0,85) + (1,34 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 5,39 \text{ mm}$$

- Conociendo los radios interiores

$$t_f = \frac{1,54P * (L + c)}{2S * E - 0,2P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * (1146 + 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (0,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 5,39 \text{ mm}$$

Se tomará como válido el mayor de los cuatro anteriores. En este caso es 5,39 mm. Al normalizarlo se tendrá como espesor de fondo 6 mm. Este valor debe comprobarse para saber si es válido o no.

Al tratarse del mismo espesor mínimo que la envolvente, la comprobación se llevará a cabo de la misma forma, obteniendo que el valor de 6 mm no es válido. Al recalcularlo se vuelve a obtener un espesor mínimo de 5 mm.

6.3. Altura de la pestaña

El tanque de almacenamiento de mosto concentrado también tendrá dos fondos toriesféricos de tipo Klopper. Por lo tanto también tendrá dos pestañas, una en la parte inferior y otra en la parte superior. Ambas pestañas medirán lo mismo y su valor, h, se determinará por la siguiente expresión:

$$h \geq 3,5 * t_f = 3,5 * 5 = 17,5 \text{ m}$$

6.4. Dimensiones reales del tanque

Al principio de este capítulo, se calculó el volumen de este tanque suponiendo que fuera cilíndrico. Ahora se puede calcular las

dimensiones reales de este tanque teniendo en cuenta el volumen de la envolvente, el de los fondos y el de las pestañas.

El volumen total del será un 15% superior al volumen útil. Para un volumen útil de trabajo de 2 m^3 , el volumen total de este equipo deberá ser de $2,33 \text{ m}^3$.

El volumen total puede descomponerse en la suma de los siguientes volúmenes:

$$V_{TOTAL} = V_{ENVOLVENTE} + 2 * V_{FONDO} + 2 * V_{PESTAÑA}$$

Para un fondo tipo Klopper, el volumen del fondo es:

$$V_{FONDO} = 0,1 * D^3 = 0,1 * 1,136^3 \rightarrow V_{FONDO} = 0,146 \text{ m}^3$$

El volumen de la pestaña puede calcularse con la siguiente expresión:

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi * 1,136^2}{4} * 0,0175 \rightarrow V_{PESTAÑA} = 0,018 \text{ m}^3$$

Sustituyendo, se calcula el volumen de la envolvente

$$2,33 = V_{ENVOLVENTE} + 2 * 0,146 + 2 * 0,018 \rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 1,972 \text{ m}^3$$

De forma análoga, la altura del depósito de almacenamiento de mosto concentrado es la suma de las siguientes alturas:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2 * H_{FONDOS} + 2 * H_{PESTAÑA}$$

La altura de la envolvente se puede calcular conocido el volumen de dicha envolvente.

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi * D^2}{4} * H_{ENV} \rightarrow H_{ENV} = \frac{4 * V_{ENVOLVENTE}}{\pi * D^2} = \frac{4 * 1,972}{\pi * 1,136^2}$$

$$H_{ENV} = 1,947 \text{ m}$$

Para un fondo tipo Klopper, la altura de los fondos se calcula de la siguiente forma:

$$H_f = 0,2 * D_0 = 0,2 * 1,146 \rightarrow H_f = 0,229 \text{ m}$$

Por lo tanto,

$$H_{TOTAL} = 1,947 + 2 * 0,229 + 2 * 0,0175 \rightarrow H_{TOTAL} = 2,44 \text{ m}$$

En la siguiente tabla se resume las dimensiones reales del depósito de almacenamiento de mosto concentrado.

ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	5
	ALTURA (m)	1,947
	VOLUMEN (m³)	1,972
FONDOS	ESPESOR (mm)	5
	ALTURA (m)	0,229
	VOLUMEN (m³)	0,146
PESTAÑA	ALTURA (mm)	17,5
	VOLUMEN (m³)	0,018
ALTURA TOTAL (m)		2,44
DIAMETRO INTERIOR (m)		1,136
DIAMETRO EXTERIOR (m)		1,146
VOLUMEN ÚTIL (m³)		2
VOLUMEN TOTAL (m³)		2,33

TABLA VII.1: Dimensiones reales del depósito de mosto concentrado

6.5. Patatas de soporte

Para el soporte de este equipo también se va a usar patas porque tampoco se da ninguna de las especificaciones mencionadas en el apartado 'Soportes del fermentador' para el uso de faldones.

Las patas deberán sujetar todo el peso del tanque de almacenamiento y para su elección se sigue el código ASTM, Sección VIII. Los datos necesarios para el cálculo de los apoyos son el diámetro exterior del equipo y la longitud entre líneas de tangencia.

El diámetro de situación del eje de los taladros se obtiene de la siguiente ecuación:

$$D_0 - 50 = 1146 - 50 = 1096 \text{ mm}$$

Según la tabla IV.2, se usarán:

- 4 patas de tipo L, de dimensiones 80x80x10 de acero inoxidable AISI 316L.

- Irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 150x12 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.
- La distancia al eje del taladro (A) será de 45 mm
- El diámetro de pernos será 20 mm
- El diámetro de taladros será de 26 mm

Según la tabla IV.3, al ser la longitud entre líneas de tangencia menor a 1830 mm, la longitud de soldadura (B) será de 150 mm.

6.6. Esfuerzos en recipientes a presión

El tanque de almacenamiento de mosto está sometido a las mismas cargas que los demás equipos:

- La presión interna
- El peso del recipiente y su contenido
- Las reacciones estáticas del equipo auxiliar, tuberías, revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos...

De igual forma, no se va a tener en cuenta las cargas debidas a la presión del viento y fuerzas sísmicas.

○ Tensión longitudinal

Para calcular la tensión longitudinal se utiliza la siguiente expresión:

$$\sigma_{Pa} = \frac{P (D + 2c)}{4 (t - c)} = \frac{3,5 * (1136 + 2 * 1,5)}{4 * (5 - 1,5)}$$
$$\sigma_{Pa} = 284,64 \text{ kg/cm}^2$$

○ Pesos y tensiones debidos a estos

El peso del recipiente conlleva un esfuerzo por compresión:

▪ Montaje y parada.

En las etapas de montaje y parada, la compresión es debida al peso de la envolvente sin líquido en su interior. El peso de la envolvente se calcula sabiendo su volumen y la densidad del material.

$$\rho_{ENV} = \frac{P_{ENV}}{V_{ENV}} \rightarrow P_{ENV} = \rho_{ENV} * V_{ENV}$$

Siendo $\rho_{ENV} = 7,85 \text{ kg/dm}^3$

$$V_{ENV} = \frac{\pi (D_0^2 - D^2)}{4} H_{ENV} = \frac{\pi * (11,46^2 - 11,36^2)}{4} * 19,47$$

$$V_{ENV} = 34,88 \text{ dm}^3$$

$$P_{ENV} = 7,85 * 34,88 = 273,81 \text{ kg}$$

Una vez calculado el peso de la envolvente, se puede calcular la tensión debida a este peso usando la siguiente expresión

$$\sigma_{PESO} = \frac{4P_{ENV} * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 273,81 * 10^2}{\pi * (1146^2 - (1136 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{PESO} = 2,18 \text{ kg/cm}^2$$

▪ Operación.

Cuando el equipo está en funcionamiento, se ejerce una compresión que es debida al peso de la envolvente, al peso del líquido de su interior, al peso de las tuberías y al peso de los fondos.

El peso de la envolvente es 273,81 kg.

El peso del líquido en el interior de la envolvente se calcula de la siguiente forma:

$$P_{LIQ.ENV} = V_{LIQ.ENV} * \rho_{LIQ.ENV}$$

La densidad del mosto concentrado a 20°C es, $\rho_{MOSTO.C} = 1450 \text{ kg/cm}^3$

El volumen de líquido que ocupa el vinagre en el interior de la envolvente es:

$$V_{LIQ.ENV} = \pi \frac{D^2}{4} H_{ENV} = \pi \frac{1136^2}{4} * 1,947 = 1,97 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el peso del líquido en el interior de la envolvente será:

$$P_{LIQ.ENV} = 1,97 * 1450 = 2858,98 \text{ kg}$$

Para tener en cuenta el peso de las tuberías, se incrementará un 5% del peso del recipiente si la relación H/D es menor de 10, como es el caso de este proyecto.

$$P_{TUB} = 0,05 * P_{ENV} = 0,05 * 273,81 = 13,69 \text{ kg}$$

Como los fondos son de tipo Klopper, el peso del líquido de su interior se calcula con la siguiente expresión:
Como

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * D_d^2 * 8 * t_f$$

Siendo

$$D_d, \text{ diámetro del disco (m)} \quad D_d = 1,2D_0 + 1,7h$$

$$D_d = 1,2 * 1,146 + 1,7 * 0,0175 = 1,4 \text{ m}$$

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * 1,4^2 * 8 * 5 = 61,96 \text{ kg}$$

La suma de todos los pesos calculados anteriormente será:

$$W_T = P_{ENV} + P_{LIQ.ENV} + P_{TUB} + 2 * P_{FONDOS}$$

$$W_T = 273,81 + 2858,98 + 13,69 + 2 * 61,96$$

$$W_T = 3270,40 \text{ kg}$$

La tensión debida a este peso se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{W_T} = \frac{4W_T * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 3270,40 * 10^2}{\pi(1146^2 - (1136 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{W_T} = 21,46 \text{ kg/cm}^2$$

○ Tensiones admisibles.

▪ Tensión admisible a tracción.

La tensión a tracción a la que está sometido el equipo en ningún caso podrá ser superior a la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño (40°C).

Esta tensión admisible a la tracción está especificada en el apartado UG-23a del Código ASTM, Sec. VIII, Div.1 para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 316L) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura ($E=0,85$).

$$\sigma_{TRACCIÓN} = S * E = 935,1 * 0,85$$

$$\sigma_{TRACCIÓN} = 794,835 \text{ kg/cm}^2$$

▪ Tensión admisible a compresión.

La máxima tensión a compresión a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

- Tensión admisible a la tracción para $E=1$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S * E = 935,1 * 1$$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

- El valor del parámetro B calculado antes para la comprobación del espesor.

$$B = 13300 \text{ psi} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a compresión será $\sigma_{compresión} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$.

▪ Tensión admisible a pandeo.

La máxima tensión a pandeo a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$\frac{1}{3} * \text{Límite elástico} = \frac{1}{3} * 1760 = 586,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$1,05 * 10^5 * \frac{(t - c)}{R_0} = 1,05 * 10^5 * \frac{(5 - 1,5)}{573} = 641,62 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a pandeo será $\sigma_{\text{PANDEO}} = 586,7 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a prueba.

La máxima tensión a prueba a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$0,9 * \text{Límite elástico} = 0,9 * 1760 = 1584 \text{ kg/cm}^2$$

$$0,495 * \text{Carga rotura} = 0,495 * 4800 = 2376 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a prueba será $\sigma_{\text{prueba}} = 1584 \text{ kg/cm}^2$.

- Pruebas hidráulicas

Todo recipiente a presión deberá ser comprobado antes de su puesta en marcha.

- Prueba inicial. El valor de la presión de prueba inicial en la parte superior del recipiente se determinará con la siguiente fórmula:

$$P_i = 1,5 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_i = 1,5 * 3,5 = 5,25 \text{ kg/cm}^2$$

- Prueba periódica. Se requiere una prueba periódica a una presión de:

$$P_p = 1,3 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_p = 1,3 * 3,5 = 4,55 \text{ kg/cm}^2$$

- ❖ Espesor de la envolvente en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_H = \frac{(P_i + (L_x + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_i + (L_x + H) * 10^{-4})}$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestañas) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

$$t_H = \frac{(5,25 + (2211 + 229) * 10^{-4}) * 1146}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (5,25 + (2211 + 229) * 10^{-4})}$$

$$t_H = 2,33 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_H = \frac{(P_p + (L_x + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_p + (L_x + H) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm²).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestaña) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

c es el sobre espesor para corrosión.

$$t_H = \frac{(4,55 + (2211 + 229) * 10^{-4}) * 1146}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (4,55 + (2211 + 229) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_H = 3,54 \text{ mm}$$

❖ Espesor de fondo inferior en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm²).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

$$t_f = \frac{1,54 * 1146 * (5,25 + (2 * 229 + 2 * 17,5) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (5,25 + (2 * 229 + 2 * 17,5) * 10^{-4})}$$

$$t_f = 3,47 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm²).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior.

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

c es el sobre-espesor para la corrosión (mm).

$$t_f = \frac{1,54 * 1146 * (4,55 + (2 * 229 + 2 * 17,5) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (4,55 + (2 * 229 + 2 * 17,5) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_f = 4,51 \text{ mm}$$

❖ Tensión longitudinal debida a las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_i + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4t}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm²).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm²).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

$$\sigma_i = \frac{1136 * (5,25 + 2440 * 10^{-4})}{4 * 5} = 311,93 \text{ kg/cm}^2$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_p + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4(t - c)}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

c es el sobre-espesor de corrosión (1,5).

$$\sigma_i = \frac{1136 * (4,55 + 2440 * 10^{-4})}{4 * (5 - 1,5)} = 388,84 \text{ kg/cm}^2$$

7. Diseño mecánico del mezclador 1

Las características del mezclador 1 son las siguientes:

$$V_{\text{útil}} = 2,12 \text{ m}^3$$

$$V = 2,45 \text{ m}^3$$

$$H/D = 1,5$$

$$D = 1,27 \text{ m}$$

$$H = 1,91 \text{ m}$$

$$T \text{ máxima de operación} = 20^\circ \text{ C}$$

$$T \text{ diseño} = 40^\circ \text{ C}$$

$$P \text{ máxima de operación} = P \text{ atmosférica}$$

$$P \text{ diseño} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1,5 \text{ mm}$$

$$E = 0,85$$

7.1. Espesor mínimo de la envolvente

El espesor mínimo de la envolvente será el mayor de los siguientes valores obtenidos por dos métodos diferentes:

- Por especificaciones
 - Según la siguiente expresión:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{1274}{1000} + 2,54 + 1,5 = 5,31 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable: $t_{\min} = 3 \text{ mm}$

▪ Por tensión circunferencial

- En función del diámetro exterior (D_0). Se supondrá válido el espesor de 5,98 mm obtenido por las especificaciones para determinar el diámetro exterior

$$t = \frac{P * D_0}{2S * E + 0,8P} + c = \frac{3,5 * (1274 + (2 * 5,31))}{(2 * 935,1 * 0,85) + (0,8 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 4,32 \text{ mm}$$

- En función del diámetro interior (D).

$$t = \frac{P * (D + 2c)}{2S * E - 1,2P} + c = \frac{3,5 * (1274 + 2 * 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (1,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 4,32 \text{ mm}$$

Se toma como válido el mayor de los cuatro valores anteriores. Es decir, el espesor mínimo será 5,31 mm que al normalizarlo se tendrá un espesor de envoltente de 6 mm.

Es necesario comprobar si este espesor calculado es válido para soportar los esfuerzos de compresión. Para ello se usa la siguiente expresión:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} = \frac{0,125 * t}{\frac{D}{2} + t} = \frac{0,125 * 6}{637 + 6} = 1,17 * 10^{-3}$$

Siendo R_0 el radio exterior de la envoltente (mm). Con este valor de A, el material del equipo (AISI 316L) y la temperatura de diseño (40°C), se obtiene el valor del parámetro B, bien mediante una gráfica o bien, analíticamente con la siguiente expresión:

$$B = \frac{A * E}{2}$$

Donde:

E es el módulo elástico en función de la temperatura,
 $28 \cdot 10^6$ (psi)

B es la tensión de compresión (psi)

$$B = \frac{1,17 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot 10^6}{2} = 16325 \text{ psi} = 1147,68 \text{ kg/cm}^2$$

Al ser mayor que la tensión máxima admisible del material (S), el espesor calculado no es válido. Por lo tanto, hay que recalcularlo.

Para recalcular el espesor, se supone $B=S=13300$ psi

$$13300 = \frac{A \cdot 28 \cdot 10^6}{2} \rightarrow A = \frac{13300 \cdot 2}{28 \cdot 10^6} \rightarrow A = 9,5 \cdot 10^{-4}$$

$$R_0 = 637 + t$$

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} \rightarrow 9,5 \cdot 10^{-4} = \frac{0,125}{\frac{637 + t}{t}} \rightarrow t = 4,88 \text{ mm}$$

Se debe tomar un espesor normalizado de 5 mm. Con este dato se realizarán los cálculos de las tensiones.

7.2. Espesor de los fondos

Los fondos del mezclador 1 serán también fondos toriesféricos del tipo Klopper, siendo exactamente igual el fondo superior que el inferior.

El espesor de cada fondo será el mayor de los cuatro espesores calculados a continuación:

- Por especificación
 - Según la siguiente expresión:

$$t_f = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(mm) = \frac{1274 + 2 \cdot 5}{1000} + 2,54 + 1,5$$

$$t_f = 5,32 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable $t_f(\text{min}) = 3\text{mm}$

- Por tensión circunferencial. Se supone como válido el valor obtenido por especificación (5,32 mm) para determinar el radio exterior de la corona (L_0)

$L = D_0 = D + 2t = 1274 + 2 * 5 = 1284 \text{ mm}$ L , radio interior corona.

$L_0 = L + t = D_0 + t = 1284 + 5,32 = 1290 \text{ mm}$ L_0 , radio exterior corona

- Conociendo los radios exteriores

$$t_f = \frac{1,54P * L_0}{2S * E + 1,34P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * 1290}{(2 * 935,1 * 0,85) + (1,34 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 5,86 \text{ mm}$$

- Conociendo los radios interiores

$$t_f = \frac{1,54P * (L + c)}{2S * E - 0,2P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * (1284 + 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (0,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 5,86 \text{ mm}$$

Se tomará como válido el mayor de los cuatro anteriores. En este caso es 5,86 mm. Al normalizarlo se tendrá como espesor de fondo 6 mm. Este valor debe comprobarse para saber si es válido o no.

Al tratarse del mismo espesor mínimo que la envolvente, la comprobación se llevará a cabo de la misma forma, obteniendo que el valor de 6 mm no es válido. Al recalcularlo se vuelve a obtener un espesor mínimo de 5 mm.

7.3. Altura de la pestaña

El mezclador 1 también tendrá dos fondos toriesféricos de tipo Klopper. Por lo tanto también tendrá dos pestañas, una en la

parte inferior y otra en la parte superior. Ambas pestañas medirán lo mismo y su valor, h , se determinará por la siguiente expresión:

$$h \geq 3,5 * t_f = 3,5 * 5 = 17,5 \text{ mm}$$

7.4. Dimensiones reales del tanque

Al principio de este capítulo, se calculó el volumen de este tanque suponiendo que fuera cilíndrico. Ahora se puede calcular las dimensiones reales de este tanque teniendo en cuenta el volumen de la envolvente, el de los fondos y el de las pestañas.

El volumen total del será un 15% superior al volumen útil. Para un volumen útil de trabajo de $2,12 \text{ m}^3$, el volumen total de este equipo deberá ser de $2,45 \text{ m}^3$.

El volumen total puede descomponerse en la suma de los siguientes volúmenes:

$$V_{TOTAL} = V_{ENVOLVENTE} + 2 * V_{FONDO} + 2 * V_{PESTAÑA}$$

Para un fondo tipo Klopper, el volumen del fondo es:

$$V_{FONDO} = 0,1 * D^3 = 0,1 * 1,274^3 \rightarrow V_{FONDO} = 0,207 \text{ m}^3$$

El volumen de la pestaña puede calcularse con la siguiente expresión:

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi * 1,274^2}{4} * 0,0175 \rightarrow V_{PESTAÑA} = 0,022 \text{ m}^3$$

Sustituyendo, se calcula el volumen de la envolvente

$$2,45 = V_{ENVOLVENTE} + 2 * 0,207 + 2 * 0,022 \rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 1,979 \text{ m}^3$$

De forma análoga, la altura del mezclador 1 es la suma de las siguientes alturas:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2 * H_{FONDOS} + 2 * H_{PESTAÑA}$$

La altura de la envolvente se puede calcular conocido el volumen de dicha envolvente.

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi * D^2}{4} * H_{ENV} \rightarrow H_{ENV} = \frac{4 * V_{ENVOLVENTE}}{\pi * D^2} = \frac{4 * 1,979}{\pi * 1,274^2}$$

$$H_{ENV} = 1,55 \text{ m}$$

Para un fondo tipo Klopper, la altura de los fondos se calcula de la siguiente forma:

$$H_f = 0,2 * D_0 = 0,2 * 1,274 \rightarrow H_f = 0,26 \text{ m}$$

Por lo tanto,

$$H_{TOTAL} = 1,55 + 2 * 0,26 + 2 * 0,0175 \rightarrow H_{TOTAL} = 2,10 \text{ m}$$

En la siguiente tabla se resume las dimensiones reales del mezclador 1.

ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	5
	ALTURA (m)	1,55
	VOLUMEN (m³)	1,979
FONDOS	ESPESOR (mm)	5
	ALTURA (m)	0,26
	VOLUMEN (m³)	0,207
PESTAÑA	ALTURA (mm)	17,5
	VOLUMEN (m³)	0,022
ALTURA TOTAL (m)		2,10
DIAMETRO INTERIOR (m)		1,274
DIAMETRO EXTERIOR (m)		1,284
VOLUMEN ÚTIL (m³)		2,12
VOLUMEN TOTAL (m³)		2,45

TABLA VIII.1: Dimensiones reales del mezclador 1.

7.5. Patas de soporte

Para el soporte de este equipo también se va a usar patas porque tampoco se da ninguna de las especificaciones mencionadas en el apartado 'Soportes del fermentador' para el uso de faldones.

Las patas deberán sujetar todo el peso del tanque de almacenamiento y para su elección se sigue el código ASTM, Sección

VIII. Los datos necesarios para el cálculo de los apoyos son el diámetro exterior del equipo y la longitud entre líneas de tangencia.

El diámetro de situación del eje de los taladros se obtiene de la siguiente ecuación:

$$D_0 - 50 = 1284 - 50 = 1234 \text{ mm}$$

Según la tabla IV.2, se usarán:

- 4 patas de tipo L, de dimensiones 80x80x10 de acero inoxidable AISI 316L.
- Irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 150x12 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.
- La distancia al eje del taladro (A) será de 45 mm
- El diámetro de pernos será 20 mm
- El diámetro de taladros será de 26 mm

Según la tabla IV.3, al ser la longitud entre líneas de tangencia menor a 1830 mm, la longitud de soldadura (B) será de 150 mm.

7.6. Esfuerzos en recipientes a presión

El mezclador 1 está sometido a las mismas cargas que los demás equipos:

- La presión interna
- El peso del recipiente y su contenido
- Las reacciones estáticas del equipo auxiliar, tuberías, revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos...

De igual forma, no se va a tener en cuenta las cargas debidas a la presión del viento y fuerzas sísmicas.

○ Tensión longitudinal

Para calcular la tensión longitudinal se utiliza la siguiente expresión:

$$\sigma_{Pa} = \frac{P(D + 2c)}{4(t - c)} = \frac{3,5 * (1274 + 2 * 1,5)}{4 * (5 - 1,5)}$$

$$\sigma_{Pa} = 319,33 \text{ kg/cm}^2$$

- Pesos y tensiones debidos a estos.

El peso del recipiente conlleva un esfuerzo por compresión

- Montaje y parada.

En las etapas de montaje y parada, la compresión es debida al peso de la envolvente sin líquido en su interior. El peso de la envolvente se calcula sabiendo su volumen y la densidad del material.

$$\rho_{ENV} = \frac{P_{ENV}}{V_{ENV}} \rightarrow P_{ENV} = \rho_{ENV} * V_{ENV}$$

Siendo $\rho_{ENV} = 7,85 \text{ kg/dm}^3$

$$V_{ENV} = \frac{\pi(D_0^2 - D^2)}{4} H_{ENV} = \frac{\pi * (12,84^2 - 12,74^2)}{4} * 15,5$$

$$V_{ENV} = 31,19 \text{ dm}^3$$

$$P_{ENV} = 7,85 * 31,19 = 244,83 \text{ kg}$$

Una vez calculado el peso de la envolvente, se puede calcular la tensión debida a este peso usando la siguiente expresión

$$\sigma_{PESO} = \frac{4P_{ENV} * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 244,83 * 10^2}{\pi * (1284^2 - (1274 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{PESO} = 1,74 \text{ kg/cm}^2$$

- Operación.

Cuando el equipo está en funcionamiento, se ejerce una compresión que es debida al peso de la envolvente, al peso del líquido de su interior, al peso de las tuberías y al peso de los fondos.

El peso de la envolvente es 244,83 kg.

El peso del líquido en el interior de la envoltente se calcula de la siguiente forma:

$$P_{LIQ.ENV} = V_{LIQ.ENV} * \rho_{LIQ.ENV}$$

La densidad del vinagre balsámico a 20°C es,
 $\rho_{VB} = 1200 \text{ kg/cm}^3$

El volumen de líquido que ocupa el vinagre en el interior de la envoltente es:

$$V_{LIQ.ENV} = \pi \frac{D^2}{4} H_{ENV} = \pi \frac{1274^2}{4} * 1,55 = 1,98 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el peso del líquido en el interior de la envoltente será:

$$P_{LIQ.ENV} = 1,98 * 1200 = 2375,37 \text{ kg}$$

Para tener en cuenta el peso de las tuberías, se incrementará un 5% del peso del recipiente si la relación H/D es menor de 10, como es el caso de este proyecto.

$$P_{TUB} = 0,05 * P_{ENV} = 0,05 * 244,83 = 12,24 \text{ kg}$$

Como los fondos son de tipo Klopper, el peso del líquido de su interior se calcula con la siguiente expresión:

Como

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * D_d^2 * 8 * t_f$$

Siendo

D_d , diámetro del disco (m) $D_d = 1,2D_0 + 1,7h$

$$D_d = 1,2 * 1,284 + 1,7 * 0,0175 = 1,57 \text{ m}$$

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * 1,57^2 * 8 * 5 = 77,53 \text{ kg}$$

La suma de todos los pesos calculados anteriormente será:

$$W_T = P_{ENV} + P_{LIQ.ENV} + P_{TUB} + 2 * P_{FONDOS}$$

$$W_T = 244,83 + 2375,37 + 12,24 + 2 * 77,53$$

$$W_T = 2787,50 \text{ kg}$$

La tensión debida a este peso se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{W_T} = \frac{4W_T * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 2787,50 * 10^2}{\pi(1284^2 - (1274 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{W_T} = 16,31 \text{ kg/cm}^2$$

○ Tensiones admisibles

▪ Tensión admisible a tracción.

La tensión a tracción a la que está sometido el equipo en ningún caso podrá ser superior a la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño (40°C).

Esta tensión admisible a la tracción está especificada en el apartado UG-23a del Código ASTM, Sec. VIII, Div.1 para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 316L) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura (E=0,85).

$$\sigma_{TRACCIÓN} = S * E = 935,1 * 0,85$$

$$\sigma_{TRACCIÓN} = 794,835 \text{ kg/cm}^2$$

▪ Tensión admisible a compresión.

La máxima tensión a compresión a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

- Tensión admisible a la tracción para E=1

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S * E = 935,1 * 1$$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

- El valor del parámetro B calculado antes para la comprobación del espesor.

$$B = 13300 \text{ psi} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a compresión será $\sigma_{\text{compresión}} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a pandeo.

La máxima tensión a pandeo a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$\frac{1}{3} * \text{Límite elástico} = \frac{1}{3} * 1760 = 586,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$1,05 * 10^5 * \frac{(t - c)}{R_0} = 1,05 * 10^5 * \frac{(5 - 1,5)}{642} = 572,28 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a pandeo será $\sigma_{\text{PANDEO}} = 572,28 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a prueba.

La máxima tensión a prueba a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$0,9 * \text{Límite elástico} = 0,9 * 1760 = 1584 \text{ kg/cm}^2$$

$$0,495 * \text{Carga rotura} = 0,495 * 4800 = 2376 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a prueba será $\sigma_{\text{prueba}} = 1584 \text{ kg/cm}^2$.

- Pruebas hidráulicas

Todo recipiente a presión deberá ser comprobado antes de su puesta en marcha.

- Prueba inicial. El valor de la presión de prueba inicial en la parte superior del recipiente se determinará con la siguiente fórmula:

$$P_i = 1,5 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_i = 1,5 * 3,5 = 5,25 \text{ kg/cm}^2$$

- Prueba periódica. Se requiere una prueba periódica a una presión de:

$$P_p = 1,3 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_p = 1,3 * 3,5 = 4,55 \text{ kg/cm}^2$$

- ❖ Espesor de la envolvente en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_H = \frac{(P_i + (L_X + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_i + (L_X + H) * 10^{-4})}$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

L_X es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestañas) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

$$t_H = \frac{(5,25 + (1844 + 260) * 10^{-4}) * 1284}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (5,25 + (1844 + 260) * 10^{-4})}$$

$$t_H = 2,60 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_H = \frac{(P_p + (L_x + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_p + (L_x + H) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm²).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestaña) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

c es el sobre espesor para corrosión.

$$t_H = \frac{(4,55 + (1844 + 260) * 10^{-4}) * 1284}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (4,55 + (1844 + 260) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_H = 3,77 \text{ mm}$$

❖ Espesor de fondo inferior en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm²).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

$$t_f = \frac{1,54 * 1284 * (5,25 + (2 * 260 + 2 * 17,5) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (5,25 + (2 * 260 + 2 * 17,5) * 10^{-4})}$$

$$t_f = 3,90 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm²).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior.

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm²).

c es el sobre-espesor para la corrosión (mm).

$$t_f = \frac{1,54 * 1284 * (4,55 + (2 * 260 + 2 * 17,5) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (4,55 + (2 * 260 + 2 * 17,5) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_f = 4,88 \text{ mm}$$

- ❖ Tensión longitudinal debida a las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_i + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4t}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

$$\sigma_i = \frac{1274 * (5,25 + 2101 * 10^{-4})}{4 * 5} = 347,90 \text{ kg/cm}^2$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_p + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4(t - c)}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

c es el sobre-espesor de corrosión (1,5).

$$\sigma_i = \frac{1274 * (4,55 + 2101 * 10^{-4})}{4 * (5 - 1,5)} = 433,28 \text{ kg/cm}^2$$

8. Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de vinagre balsámico

Las características del tanque de almacenamiento de vinagre balsámico son las siguientes:

$$V_{\text{útil}} = 10 \text{ m}^3$$

$$V = 11,5 \text{ m}^3$$

$$H/D = 2$$

$$D = 1,94 \text{ m}$$

$$H = 3,88 \text{ m}$$

$$T \text{ máxima de operación} = 20^{\circ} \text{ C}$$

$$T \text{ diseño} = 40^{\circ} \text{ C}$$

$$P \text{ máxima de operación} = P \text{ atmosférica}$$

$$P \text{ diseño} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1,5 \text{ mm}$$

$$E = 0,85$$

8.1. Espesor mínimo de la envolvente

El espesor mínimo será el mayor de los siguientes valores obtenidos por dos métodos diferentes:

- Por especificaciones.

- Según la siguiente expresión:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{1942}{1000} + 2,54 + 1,5 = 5,98 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable: $t_{\min} = 3 \text{ mm}$

- Por tensión circunferencial.

- En función del diámetro exterior (D_0). Se supondrá válido el espesor de 5,98 mm obtenido por las especificaciones para determinar el diámetro exterior:

$$t = \frac{P * D_0}{2S * E + 0,8P} + c = \frac{3,5 * (1942 + (2 * 5,98))}{(2 * 935,1 * 0,85) + (0,8 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 5,79 \text{ mm}$$

- En función del diámetro interior (D):

$$t = \frac{P * (D + 2c)}{2S * E - 1,2P} + c = \frac{3,5 * (1942 + 2 * 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (1,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 5,79 \text{ mm}$$

Se toma como válido el mayor de los cuatro valores anteriores. Es decir, el espesor mínimo será 5,98 mm que al normalizarlo se tendrá un espesor de envolverte de 6 mm.

Es necesario comprobar si este espesor calculado es válido para soportar los esfuerzos de compresión. Para ello se usa la siguiente expresión:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} = \frac{0,125 * t}{\frac{D}{2} + t} = \frac{0,125 * 6}{971 + 6} = 7,68 * 10^{-4}$$

Siendo R_0 el radio exterior de la envolverte (mm). Con este valor de A, el material del equipo (AISI 316L) y la temperatura de diseño (40°C), se obtiene el valor del parámetro B, bien mediante una gráfica o bien, analíticamente con la siguiente expresión:

$$B = \frac{A * E}{2}$$

Donde:

E es el módulo elástico en función de la temperatura,
 $28 * 10^6$ (psi)

B es la tensión de compresión (psi)

$$B = \frac{7,68 * 10^{-4} * 28 * 10^6}{2} = 10749 \text{ psi} = 755,62 \text{ kg/cm}^2$$

Al ser menor que la tensión máxima admisible del material (S), el espesor calculado es válido. Por lo tanto, el espesor mínimo de la envolverte será de 6 mm.

8.2. Espesor de los fondos

Los fondos del tanque de almacenamiento de vinagre balsámico serán también fondos toriesféricos del tipo Klopper, siendo exactamente igual el fondo superior que el inferior.

El espesor de cada fondo será el mayor de los cuatro espesores calculados a continuación:

- Por especificación
 - Según la siguiente expresión:

$$t_f = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(mm) = \frac{1942 + 2 * 6}{1000} + 2,54 + 1,5$$

$$t_f = 5,99 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable $t_f(\text{min}) = 3\text{mm}$
- Por tensión circunferencial. Se supone como válido el valor obtenido por especificación (5,99 mm) para determinar el radio exterior de la corona (L_0)

$$L_0 = L + t = D_0 + t = 1954 + 5,99 = 1960 \text{ mm} \quad L_0, \text{ radio exterior corona}$$

$$L = D_0 = D + 2t = 1942 + 2 * 6 = 1954 \text{ mm} \quad L, \text{ radio interior corona}$$

- Conociendo los radios exteriores:

$$t_f = \frac{1,54P * L_0}{2S * E + 1,34P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * 1960}{(2 * 935,1 * 0,85) + (1,34 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 8,13 \text{ mm}$$

- Conociendo los radios interiores:

$$t_f = \frac{1,54P * (L + c)}{2S * E - 0,2P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * (1954 + 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (0,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 8,13 \text{ mm}$$

Se tomará como válido el mayor de los cuatro anteriores. En este caso 8,13 mm. Al normalizarlo se tendrá como espesor de fondo 9 mm. Este valor debe comprobarse para saber si es válido o no. Para ello se usa la misma expresión:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} = \frac{0,125 * t}{\frac{D}{2} + t} = \frac{0,125 * 9}{971 + 9} = 1,15 * 10^{-3}$$

Siendo R_0 el radio exterior de la envolvente (mm). Con este valor de A , el material del equipo (AISI 316L) y la temperatura de diseño (40°C), se obtiene el valor del parámetro B , bien mediante una gráfica o bien, analíticamente con la siguiente expresión:

$$B = \frac{A * E}{2}$$

Donde:

E es el módulo elástico en función de la temperatura,
 $28 * 10^6$ (psi)

B es la tensión de compresión (psi)

$$B = \frac{1,02 * 10^{-3} * 28 * 10^6}{2} = 16074 \text{ psi} = 1129,97 \text{ kg/cm}^2$$

Al ser mayor que la tensión máxima admisible del material (S), el espesor calculado no es válido.

Para recalcular el espesor, se supone $B=S=13300$ psi

$$13300 = \frac{A * 28 * 10^6}{2} \rightarrow A = \frac{13300 * 2}{28 * 10^6} \rightarrow A = 9,5 * 10^{-4}$$

$$R_0 = 971 + t$$

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} \rightarrow 9,5 * 10^{-4} = \frac{0,125}{\frac{971 + t}{t}} \rightarrow t = 7,4 \text{ mm}$$

Se debe tomar un espesor normalizado de 8 mm. Con este dato se realizarán los cálculos de las tensiones.

8.3. Altura de la pestaña

El depósito de almacenamiento de vinagre balsámico también tendrá dos fondos torisféricos de tipo Klopper. Por lo tanto también tendrá dos pestañas, una en la parte inferior y otra en la parte superior. Ambas pestañas medirán lo mismo y su valor, h , se determinará por la siguiente expresión:

$$h \geq 3,5 * t_f = 3,5 * 8 = 28 \text{ mm}$$

8.4. Dimensiones reales del tanque

Al principio de este capítulo, se calculó el volumen de este tanque suponiendo que fuera cilíndrico. Ahora se puede calcular las dimensiones reales de este tanque teniendo en cuenta el volumen de la envolvente, el de los fondos y el de las pestañas.

Como anteriormente se ha mencionado, el volumen total del será un 15% superior al volumen útil. Para un volumen útil de trabajo de 10 m^3 , el volumen total de este equipo deberá ser de $11,5 \text{ m}^3$.

El volumen total puede descomponerse en la suma de los siguientes volúmenes:

$$V_{TOTAL} = V_{ENVOLVENTE} + 2 * V_{FONDO} + 2 * V_{PESTAÑA}$$

Para un fondo tipo Klopper, el volumen del fondo es:

$$V_{FONDO} = 0,1 * D^3 = 0,1 * 1942^3 \rightarrow V_{FONDO} = 0,732 \text{ m}^3$$

El volumen de la pestaña puede calcularse con la siguiente expresión:

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi * 1942^2}{4} * 0,028 \rightarrow V_{PESTAÑA} = 0,083 \text{ m}^3$$

Sustituyendo, se calcula el volumen de la envolvente

$$11,5 = V_{ENVOLVENTE} + 2 * 0,732 + 2 * 0,083 \rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 9,870 \text{ m}^3$$

De forma análoga, la altura del depósito de almacenamiento de vinagre balsámico es la suma de las siguientes alturas:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2 * H_{FONDOS} + 2 * H_{PESTAÑA}$$

La altura de la envolvente se puede calcular conocido el volumen de dicha envolvente.

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi * D^2}{4} * H_{ENV} \rightarrow H_{ENV} = \frac{4 * V_{ENVOLVENTE}}{\pi * D^2} = \frac{4 * 9,870}{\pi * 1942^2}$$

$$H_{ENV} = 3,333 \text{ m}$$

Para un fondo tipo Kloppe, la altura de los fondos se calcula de la siguiente forma:

$$H_f = 0,2 * D_0 = 0,2 * 1954 \rightarrow H_f = 0,391 m$$

Por lo tanto,

$$H_{TOTAL} = 3,333 + 2 * 0,391 + 2 * 0,028 \rightarrow H_{TOTAL} = 3,752 m$$

En la siguiente tabla se resume las dimensiones reales del depósito de almacenamiento de vinagre balsámico.

ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	3,333
	VOLUMEN (m³)	9,870
FONDOS	ESPESOR (mm)	8
	ALTURA (m)	0,391
	VOLUMEN (m³)	0,732
PESTAÑA	ALTURA (mm)	28
	VOLUMEN (m³)	0,083
ALTURA TOTAL (m)		3,752
DIAMETRO INTERIOR (m)		1,942
DIAMETRO EXTERIOR (m)		1,954
VOLUMEN ÚTIL (m³)		10
VOLUMEN TOTAL (m³)		11,5

TABLA IX.1: Dimensiones reales del depósito de vinagre balsámico

8.5. Patas de soporte

Para el soporte de este equipo también se va a usar patas porque tampoco se da ninguna de las especificaciones mencionadas en el apartado 'Soportes del fermentador' para el uso de faldones.

Las patas deberán sujetar todo el peso del tanque de almacenamiento y para su elección se sigue el código ASTM, Sección VIII. Los datos necesarios para el cálculo de los apoyos son el diámetro exterior del equipo y la longitud entre líneas de tangencia.

El diámetro de situación del eje de los taladros se obtiene de la siguiente ecuación:

$$D_0 - 50 = 1954 - 50 = 1904 \text{ mm}$$

Según la tabla IV.2, se usarán:

- 4 patas de tipo L, de dimensiones 100x100x14 de acero inoxidable AISI 316L.
- Irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 200x10 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.
- La distancia al eje del taladro (A) será de 65 mm
- El diámetro de pernos será 27 mm
- El diámetro de taladros será de 33 mm

Según la tabla IV.3, al ser la longitud entre líneas de tangencia menor a 1830 mm, la longitud de soldadura (B) será de 150 mm.

8.6. Esfuerzos en recipientes a presión

El tanque de almacenamiento de vinagre balsámico también está sometido a las mismas cargas:

- La presión interna
- El peso del recipiente y su contenido
- Las reacciones estáticas del equipo auxiliar, tuberías, revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos...

Como ya se mencionó anteriormente, no se va a tener en cuenta las cargas debidas a la presión del viento y fuerzas sísmicas.

○ Tensión longitudinal

Para calcular la tensión longitudinal se utiliza la siguiente expresión:

$$\sigma_{Pa} = \frac{P (D + 2c)}{4 (t - c)} = \frac{3,5 * (1942 + 2 * 1,5)}{4 * (8 - 1,5)}$$
$$\sigma_{Pa} = 261,79 \text{ kg/cm}^2$$

○ Pesos y tensiones debidos a estos

El peso del recipiente conlleva un esfuerzo por compresión

- Montaje y parada.

En las etapas de montaje y parada, la compresión es debida al peso de la envoltente sin líquido en su interior. El peso de la envoltente se calcula sabiendo su volumen y la densidad del material.

$$\rho_{ENV} = \frac{P_{ENV}}{V_{ENV}} \rightarrow P_{ENV} = \rho_{ENV} * V_{ENV}$$

Siendo $\rho_{ENV} = 7,85 \text{ kg/dm}^3$

$$V_{ENV} = \frac{\pi (D_0^2 - D^2)}{4} H_{ENV} = \frac{\pi * (19,54^2 - 19,42^2)}{4} * 33,33$$

$$V_{ENV} = 122,37 \text{ dm}^3$$

$$P_{ENV} = 7,85 * 122,37 = 960,60 \text{ kg}$$

Una vez calculado el peso de la envoltente, se puede calcular la tensión debida a este peso usando la siguiente expresión

$$\sigma_{PESO} = \frac{4P_{ENV} * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 960,60 * 10^2}{\pi * (1954^2 - (1942 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{PESO} = 3,49 \text{ kg/cm}^2$$

- Operación.

Cuando el equipo está en funcionamiento, se ejerce una compresión que es debida al peso de la envoltente, al peso del líquido de su interior, al peso de las tuberías y al peso de los fondos.

El peso de la envoltente es 960,60 kg.

El peso del líquido en el interior de la envoltente se calcula de la siguiente forma:

$$P_{LIQ.ENV} = V_{LIQ.ENV} * \rho_{LIQ.ENV}$$

La densidad del vinagre balsámico a 20°C es,
 $\rho_{VB} = 1200 \text{ kg/m}^3$

El volumen de líquido que ocupa el vinagre en el interior de la envolvente es:

$$V_{LIQ.ENV} = \pi \frac{D^2}{4} H_{ENV} = \pi \frac{1942^2}{4} * 3,33 = 9,870 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el peso del líquido en el interior de la envolvente será:

$$P_{LIQ.ENV} = 9,870 * 1200 = 11843,93 \text{ kg}$$

Para tener en cuenta el peso de las tuberías, se incrementará un 5% del peso del recipiente si la relación H/D es menor de 10, como es el caso de este proyecto.

$$P_{TUB} = 0,05 * P_{ENV} = 0,05 * 960,60 = 48,03 \text{ kg}$$

Como los fondos son de tipo Klopper, el peso del líquido de su interior se calcula con la siguiente expresión:
Como

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * D_d^2 * 8 * t_f$$

Siendo

D_d , diámetro del disco (m) $D_d = 1,2D_0 + 1,7h$

$$D_d = 1,2 * 1,954 + 1,7 * 0,028 = 2,39 \text{ m}$$

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * 2,39^2 * 8 * 8 = 287,63 \text{ kg}$$

La suma de todos los pesos calculados anteriormente será:

$$W_T = P_{ENV} + P_{LIQ.ENV} + P_{TUB} + 2 * P_{FONDOS}$$

$$W_T = 960,60 + 11843,93 + 48,03 + 2 * 287,63$$

$$W_T = 13427,81 \text{ kg}$$

La tensión debida a este peso se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{W_T} = \frac{4W_T * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 11521,93 * 10^2}{\pi(1954^2 - (1942 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{W_T} = 41,78 \text{ kg/cm}^2$$

○ Tensiones admisibles

▪ Tensión admisible a tracción.

La tensión a tracción a la que está sometido el equipo en ningún caso podrá ser superior a la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño (40°C).

Esta tensión admisible a la tracción está especificada en el apartado UG-23a del Código ASTM, Sec. VIII, Div.1 para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 316L) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura (E=0,85).

$$\sigma_{TRACCIÓN} = S * E = 935,1 * 0,85$$

$$\sigma_{TRACCIÓN} = 794,835 \text{ kg/cm}^2$$

▪ Tensión admisible a compresión.

La máxima tensión a compresión a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

- Tensión admisible a la tracción para E=1

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S * E = 935,1 * 1$$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

- El valor del parámetro B calculado antes para la comprobación del espesor.

$$B = 13300 \text{ psi} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a compresión será $\sigma_{compresión} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a pandeo.

La máxima tensión a pandeo a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$\frac{1}{3} * \text{Límite elástico} = \frac{1}{3} * 1760 = 586,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$1,05 * 10^5 * \frac{(t - c)}{R_0} = 1,05 * 10^5 * \frac{(8 - 1,5)}{971 + 6} = 698,657 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a pandeo será $\sigma_{\text{PANDEO}} = 586,7 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a prueba.

La máxima tensión a prueba a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$0,9 * \text{Límite elástico} = 0,9 * 1760 = 1584 \text{ kg/cm}^2$$

$$0,495 * \text{Carga rotura} = 0,495 * 4800 = 2376 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a prueba será $\sigma_{\text{prueba}} = 1584 \text{ kg/cm}^2$.

- Pruebas hidráulicas

Todo recipiente a presión deberá ser comprobado antes de su puesta en marcha.

- Prueba inicial. El valor de la presión de prueba inicial en la parte superior del recipiente se determinará con la siguiente fórmula:

$$P_i = 1,5 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2):

P es la presión de diseño (kg/cm^2):

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2):

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2):

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_i = 1,5 * 3,5 = 5,25 \text{ kg/cm}^2$$

- Prueba periódica. Se requiere una prueba periódica a una presión de:

$$P_p = 1,3 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2):

P es la presión de diseño (kg/cm^2):

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2):

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2):

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_p = 1,3 * 3,5 = 4,55 \text{ kg/cm}^2$$

- ❖ Espesor de la envolvente en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_H = \frac{(P_i + (L_x + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_i + (L_x + H) * 10^{-4})}$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestañas) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

$$t_H = \frac{(5,25 + (3780 + 391) * 10^{-4}) * 1954}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (5,25 + (3780 + 391) * 10^{-4})}$$

$$t_H = 4,10 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_H = \frac{(P_p + (L_x + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_p + (L_x + H) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestaña) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

c es el sobre espesor para corrosión.

$$t_H = \frac{(4,55 + (3780 + 391) * 10^{-4}) * 1954}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (4,55 + (3780 + 391) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_H = 3,39 \text{ mm}$$

❖ Espesor de fondo inferior en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

$$t_f = \frac{1,54 * 1954 * (5,25 + (2 * 373 + 2 * 28) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (5,25 + (2 * 373 + 2 * 28) * 10^{-4})}$$

$$t_f = 5,96 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba (kg/cm^2).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior, que en este caso al ser una tapa plana $H=0$.

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

c es el sobre-espesor para la corrosión (mm).

$$t_f = \frac{1,54 * 1954 * (4,55 + (2 * 373 + 2 * 28) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (4,55 + (2 * 373 + 2 * 28) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_f = 6,68 \text{ mm}$$

❖ Tensión longitudinal debida a las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_i + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4t}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

$$\sigma_i = \frac{1942 * (5,25 + 3752 * 10^{-4})}{4 * 8} = 341,33 \text{ kg/cm}^2$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_p + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4(t - c)}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

c es el sobre-espesor de corrosión (1,5).

$$\sigma_i = \frac{1942 * (4,55 + 3752 * 10^{-4})}{4 * (8 - 1,5)} = 367,83 \text{ kg/cm}^2$$

9. Diseño mecánico del mezclador 2

Las características del mezclador 2 son las siguientes:

$$V_{\text{útil}} = 0,64 \text{ m}^3$$

$$V = 0,75 \text{ m}^3$$

$$H/D = 1,5$$

$$D = 0,85 \text{ m}$$

$$H = 1,28 \text{ m}$$

$$T \text{ máxima de operación} = 20^\circ \text{ C}$$

$$T \text{ diseño} = 40^\circ \text{ C}$$

$$P \text{ máxima de operación} = P \text{ atmosférica}$$

$$P \text{ diseño} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1,5 \text{ mm}$$

$$E = 0,85$$

9.1. Espesor mínimo de la envolvente

El espesor mínimo de la envolvente será el mayor de los siguientes valores obtenidos por dos métodos diferentes:

- Por especificaciones.
 - Según la siguiente expresión:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{0,8549}{1000} + 2,54 + 1,5 = 4,89 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable: $t_{\min} = 3 \text{ mm}$

- Por tensión circunferencial.
 - En función del diámetro exterior (D_0). Se supondrá válido el espesor de 5,98 mm obtenido por las especificaciones para determinar el diámetro exterior

$$t = \frac{P * D_0}{2S * E + 0,8P} + c = \frac{3,5 * (0,8549 + (2 * 4,89))}{(2 * 935,1 * 0,85) + (0,8 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 3,40 \text{ mm}$$

- En función del diámetro interior (D).

$$t = \frac{P * (D + 2c)}{2S * E - 1,2P} + c = \frac{3,5 * (0,8549 + 2 * 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (1,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 3,39 \text{ mm}$$

Se toma como válido el mayor de los cuatro valores anteriores. Es decir, el espesor mínimo será 4,89 mm que al normalizarlo se tendrá un espesor de envolvente de 5 mm.

Es necesario comprobar si este espesor calculado es válido para soportar los esfuerzos de compresión. Para ello se usa la siguiente expresión:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} = \frac{0,125 * t}{\frac{D}{2} + t} = \frac{0,125 * 5}{427 + 5} = 1,44 * 10^{-3}$$

Siendo R_0 el radio exterior de la envolvente (mm). Con este valor de A , el material del equipo (AISI 316L) y la temperatura de diseño (40 °C), se obtiene el valor del parámetro B , bien mediante una gráfica o bien, analíticamente con la siguiente expresión:

$$B = \frac{A * E}{2}$$

Donde:

E es el módulo elástico en función de la temperatura,
 $28 * 10^6$ (psi)

B es la tensión de compresión (psi)

$$B = \frac{1,44 * 10^{-3} * 28 * 10^6}{2} = 20234 \text{ psi} = 1422,47 \text{ kg/cm}^2$$

Al ser mayor que la tensión máxima admisible del material (S), el espesor calculado no es válido. Por lo tanto, hay que recalcarlo.

Para recalcular el espesor, se supone $B=S=13300$ psi

$$13300 = \frac{A * 28 * 10^6}{2} \rightarrow A = \frac{13300 * 2}{28 * 10^6} \rightarrow A = 9,5 * 10^{-4}$$

$$R_0 = 432 + t$$

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} \rightarrow 9,5 * 10^{-4} = \frac{0,125}{\frac{432 + t}{t}} \rightarrow t = 3,27 \text{ mm}$$

Se debe tomar un espesor normalizado de 4 mm. Con este dato se realizarán los cálculos de las tensiones.

9.2. Espesor de los fondos

Los fondos del mezclador 2 serán también fondos toriesféricos del tipo Klopper, siendo exactamente igual el fondo superior que el inferior.

El espesor de cada fondo será el mayor de los cuatro espesores calculados a continuación:

- Por especificación
 - Según la siguiente expresión:

$$t_f = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(mm) = \frac{855 + 2 * 4}{1000} + 2,54 + 1,5$$

$$t_f = 4,90 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable $t_f(\text{min}) = 3\text{mm}$
- Por tensión circunferencial. Se supone como válido el valor obtenido por especificación (4,90 mm) para determinar el radio exterior de la corona (L_0)

$$L = D_0 = D + 2t = 855 + 2 * 4 = 863 \text{ mm } L, \text{ radio interior corona.}$$

$$L_0 = L + t = D_0 + t = 863 + 4,90 = 868 \text{ mm } L_0, \text{ radio exterior corona}$$

- Conociendo los radios exteriores

$$t_f = \frac{1,54P * L_0}{2S * E + 1,34P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * 868}{(2 * 935,1 * 0,85) + (1,34 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 4,43 \text{ mm}$$

- Conociendo los radios interiores

$$t_f = \frac{1,54P * (L + c)}{2S * E - 0,2P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * (863 + 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (0,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 4,43 \text{ mm}$$

Se tomará como válido el mayor de los cuatro anteriores. En este caso es 4,90 mm. Al normalizarlo se tendrá como espesor de fondo 5 mm. Este valor debe comprobarse para saber si es válido o no.

Al tratarse del mismo espesor mínimo que la envolvente, la comprobación se llevará a cabo de la misma forma, obteniendo que el valor de 5 mm no es válido. Al recalcularlo se vuelve a obtener un espesor mínimo de 4 mm.

9.3. Altura de la pestaña

El mezclador 2 también tendrá dos fondos toriesféricos de tipo Klopper. Por lo tanto también tendrá dos pestañas, una en la parte inferior y otra en la parte superior. Ambas pestañas medirán lo mismo y su valor, h , se determinará por la siguiente expresión:

$$h \geq 3,5 * t_f = 3,5 * 4 = 14 \text{ mm}$$

9.4. Dimensiones reales del tanque

Al principio de este capítulo, se calculó el volumen de este tanque suponiendo que fuera cilíndrico. Ahora se puede calcular las dimensiones reales de este tanque teniendo en cuenta el volumen de la envolvente, el de los fondos y el de las pestañas.

El volumen total del será un 15% superior al volumen útil. Para un volumen útil de trabajo de $0,64 \text{ m}^3$, el volumen total de este equipo deberá ser de $0,75 \text{ m}^3$.

El volumen total puede descomponerse en la suma de los siguientes volúmenes:

$$V_{TOTAL} = V_{ENVOLVENTE} + 2 * V_{FONDO} + 2 * V_{PESTAÑA}$$

Para un fondo tipo Klopper, el volumen del fondo es:

$$V_{FONDO} = 0,1 * D^3 = 0,1 * 0,855^3 \rightarrow V_{FONDO} = 0,062 \text{ m}^3$$

El volumen de la pestaña puede calcularse con la siguiente expresión:

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi * 0,855^2}{4} * 0,014 \rightarrow V_{PESTAÑA} = 0,008 m^3$$

Sustituyendo, se calcula el volumen de la envolvente

$$0,75 = V_{ENVOLVENTE} + 2 * 0,062 + 2 * 0,008 \rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 0,595 m^3$$

De forma análoga, la altura del mezclador 2 es la suma de las siguientes alturas:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2 * H_{FONDOS} + 2 * H_{PESTAÑA}$$

La altura de la envolvente se puede calcular conocido el volumen de dicha envolvente.

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi * D^2}{4} * H_{ENV} \rightarrow H_{ENV} = \frac{4 * V_{ENVOLVENTE}}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0,595}{\pi * 0,855^2}$$

$$H_{ENV} = 1,037 m$$

Para un fondo tipo Klopper, la altura de los fondos se calcula de la siguiente forma:

$$H_f = 0,2 * D_0 = 0,2 * 863 \rightarrow H_f = 0,173 m$$

Por lo tanto,

$$H_{TOTAL} = 1,037 + 2 * 0,173 + 2 * 0,014 \rightarrow H_{TOTAL} = 1,41 m$$

En la siguiente tabla se resume las dimensiones reales del mezclador 2.

ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	4
	ALTURA (m)	1,037
	VOLUMEN (m³)	0,595
FONDOS	ESPESOR (mm)	4
	ALTURA (m)	0,173
	VOLUMEN (m³)	0,062
PESTAÑA	ALTURA (mm)	14
	VOLUMEN (m³)	0,008

ALTURA TOTAL (m)	1,04
DIAMETRO INTERIOR (m)	855
DIAMETRO EXTERIOR (m)	863
VOLUMEN ÚTIL (m³)	0,64
VOLUMEN TOTAL (m³)	0,75

TABLA X.1: Dimensiones reales del mezclador 2

9.5. Patatas de soporte

Para el soporte de este equipo también se va a usar patas porque tampoco se da ninguna de las especificaciones mencionadas en el apartado 'Soportes del fermentador' para el uso de faldones.

Las patas deberán sujetar todo el peso del tanque de almacenamiento y para su elección se sigue el código ASTM, Sección VIII. Los datos necesarios para el cálculo de los apoyos son el diámetro exterior del equipo y la longitud entre líneas de tangencia.

El diámetro de situación del eje de los taladros se obtiene de la siguiente ecuación:

$$D_0 - 50 = 863 - 50 = 813 \text{ mm}$$

Según la tabla IV.2, se usarán:

- 4 patas de tipo L, de dimensiones 70x70x10 de acero inoxidable AISI 316L.
- Irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 120x10 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.
- La distancia al eje del taladro (A) será de 40 mm
- El diámetro de pernos será 20 mm
- El diámetro de taladros será de 26 mm

Según la tabla IV.3, al ser la longitud entre líneas de tangencia menor a 1830 mm, la longitud de soldadura (B) será de 150 mm.

9.6. Esfuerzos en recipientes a presión

El mezclador 2 está sometido a las mismas cargas que los demás equipos:

- La presión interna
- El peso del recipiente y su contenido
- Las reacciones estáticas del equipo auxiliar, tuberías, revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos...

De igual forma, no se va a tener en cuenta las cargas debidas a la presión del viento y fuerzas sísmicas.

○ Tensión longitudinal

Para calcular la tensión longitudinal se utiliza la siguiente expresión:

$$\sigma_{Pa} = \frac{P (D + 2c)}{4 (t - c)} = \frac{3,5 * (855 + 2 * 1,5)}{4 * (4 - 1,5)}$$

$$\sigma_{Pa} = 300,25 \text{ kg/cm}^2$$

○ Pesos y tensiones debidos a estos

El peso del recipiente conlleva un esfuerzo por compresión

▪ Montaje y parada.

En las etapas de montaje y parada, la compresión es debida al peso de la envolvente sin líquido en su interior. El peso de la envolvente se calcula sabiendo su volumen y la densidad del material.

$$\rho_{ENV} = \frac{P_{ENV}}{V_{ENV}} \rightarrow P_{ENV} = \rho_{ENV} * V_{ENV}$$

Siendo $\rho_{ENV} = 7,85 \text{ kg/dm}^3$

$$V_{ENV} = \frac{\pi (D_0^2 - D^2)}{4} H_{ENV} = \frac{\pi * (8,55^2 - 8,63^2)}{4} * 10,37$$

$$V_{ENV} = 11,19 \text{ dm}^3$$

$$P_{ENV} = 7,85 * 11,19 = 244,83 \text{ kg}$$

Una vez calculado el peso de la envoltente, se puede calcular la tensión debida a este peso usando la siguiente expresión

$$\sigma_{PESO} = \frac{4P_{ENV} * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 87,83 * 10^2}{\pi * (863^2 - (855 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{PESO} = 1,30 \text{ kg/cm}^2$$

▪ Operación.

Cuando el equipo está en funcionamiento, se ejerce una compresión que es debida al peso de la envoltente, al peso del líquido de su interior, al peso de las tuberías y al peso de los fondos.

El peso de la envoltente es 87,83 kg.

El peso del líquido en el interior de la envoltente se calcula de la siguiente forma:

$$P_{LIQ.ENV} = V_{LIQ.ENV} * \rho_{LIQ.ENV}$$

La densidad de la crema de vinagre de crema balsámico a 20°C es, $\rho_{CVB} = 1350 \text{ kg/cm}^3$

El volumen de líquido que ocupa el vinagre en el interior de la envoltente es:

$$V_{LIQ.ENV} = \pi \frac{D^2}{4} H_{ENV} = \pi \frac{855^2}{4} * 1,037 = 0,595 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el peso del líquido en el interior de la envoltente será:

$$P_{LIQ.ENV} = 0,595 * 1350 = 803,23 \text{ kg}$$

Para tener en cuenta el peso de las tuberías, se incrementará un 5% del peso del recipiente si la relación H/D es menor de 10, como es el caso de este proyecto.

$$P_{TUB} = 0,05 * P_{ENV} = 0,05 * 87,83 = 4,39 \text{ kg}$$

Como los fondos son de tipo Klopper, el peso del líquido de su interior se calcula con la siguiente expresión:

Como

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * D_d^2 * 8 * t_f$$

Siendo

D_d , diámetro del disco (m) $D_d = 1,2D_0 + 1,7h$

$$D_d = 1,2 * 863 + 1,7 * 0,014 = 1,06 \text{ m}$$

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * 1,06^2 * 8 * 4 = 28,20 \text{ kg}$$

La suma de todos los pesos calculados anteriormente será:

$$W_T = P_{ENV} + P_{LIQ.ENV} + P_{TUB} + 2 * P_{FONDOS}$$

$$W_T = 87,83 + 803,23 + 4,39 + 2 * 28,20$$

$$W_T = 951,84 \text{ kg}$$

La tensión debida a este peso se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{W_T} = \frac{4W_T * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 951,84 * 10^2}{\pi(863^2 - (855 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{W_T} = 10,84 \text{ kg/cm}^2$$

○ Tensiones admisibles.

▪ Tensión admisible a tracción.

La tensión a tracción a la que está sometido el equipo en ningún caso podrá ser superior a la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño (40°C).

Esta tensión admisible a la tracción está especificada en el apartado UG-23a del Código ASTM, Sec. VIII, Div.1

para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 316L) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura ($E=0,85$).

$$\sigma_{TRACCIÓN} = S * E = 935,1 * 0,85$$

$$\sigma_{TRACCIÓN} = 794,835 \text{ kg/cm}^2$$

- Tensión admisible a compresión.

La máxima tensión a compresión a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

- Tensión admisible a la tracción para $E=1$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S * E = 935,1 * 1$$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

- El valor del parámetro B calculado antes para la comprobación del espesor.

$$B = 13300 \text{ psi} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a compresión será $\sigma_{compresión} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a pandeo.

La máxima tensión a pandeo a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$\frac{1}{3} * \text{Límite elástico} = \frac{1}{3} * 1760 = 586,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$1,05 * 10^5 * \frac{(t - c)}{R_0} = 1,05 * 10^5 * \frac{(4 - 1,5)}{431,5} = 608,44 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a pandeo será $\sigma_{PANDEO}=586,67 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a prueba.

La máxima tensión a prueba a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$0,9 * \text{Límite elástico} = 0,9 * 1760 = 1584 \text{ kg/cm}^2$$

$$0,495 * \text{Carga rotura} = 0,495 * 4800 = 2376 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a prueba será $\sigma_{\text{prueba}} = 1584 \text{ kg/cm}^2$.

- Pruebas hidráulicas

Todo recipiente a presión deberá ser comprobado antes de su puesta en marcha.

- Prueba inicial. El valor de la presión de prueba inicial en la parte superior del recipiente se determinará con la siguiente fórmula:

$$P_i = 1,5 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_i = 1,5 * 3,5 = 5,25 \text{ kg/cm}^2$$

- Prueba periódica. Se requiere una prueba periódica a una presión de:

$$P_p = 1,3 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_p = 1,3 * 3,5 = 4,55 \text{ kg/cm}^2$$

- ❖ Espesor de la envolvente en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_H = \frac{(P_i + (L_X + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_i + (L_X + H) * 10^{-4})}$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

L_X es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestañas) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

$$t_H = \frac{(5,25 + (1237 + 173) * 10^{-4}) * 863}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (5,25 + (1237 + 173) * 10^{-4})}$$

$$t_H = 1,72 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_H = \frac{(P_p + (L_X + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_p + (L_X + H) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestaña) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

c es el sobre espesor para corrosión.

$$t_H = \frac{(4,55 + (1237 + 173) * 10^{-4}) * 863}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (4,55 + (1237 + 173) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_H = 3,00 \text{ mm}$$

- ❖ Espesor de fondo inferior en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

$$t_f = \frac{1,54 * 863 * (5,25 + (2 * 173 + 2 * 14) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (5,25 + (2 * 173 + 2 * 14) * 10^{-4})}$$

$$t_f = 2,61 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior.

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

c es el sobre-espesor para la corrosión (mm).

$$t_f = \frac{1,54 * 863 * (4,55 + (2 * 173 + 2 * 14) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (4,55 + (2 * 173 + 2 * 14) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_f = 3,76 \text{ mm}$$

❖ Tensión longitudinal debida a las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_i + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4t}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

$$\sigma_i = \frac{855 * (5,25 + 1037 * 10^{-4})}{4 * 4} = 288,04 \text{ kg/cm}^2$$

En función de la presión de prueba periódica

$$\sigma_i = \frac{D * (P_p + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4(t - c)}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

c es el sobre-espesor de corrosión (1,5)

$$\sigma_i = \frac{855 * (4,55 + 1037 * 10^{-4})}{4 * (4 - 1,5)} = 401,02 \text{ kg/cm}^2$$

10. Diseño mecánico del tanque de almacenamiento de crema de vinagre balsámico

Las características del tanque de almacenamiento de vinagre balsámico son las siguientes:

$$V_{\text{útil}} = 5 \text{ m}^3$$

$$V = 5,75 \text{ m}^3$$

$$H/D = 2$$

$$D = 1,54 \text{ m}$$

$$H = 3,08 \text{ m}$$

$$T \text{ máxima de operación} = 20^\circ \text{ C}$$

$$T \text{ diseño} = 40^\circ \text{ C}$$

$$P \text{ máxima de operación} = P \text{ atmosférica}$$

$$P \text{ diseño} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1,5 \text{ mm}$$

$$E = 0,85$$

10.1. Espesor mínimo de la envolvente

El espesor mínimo será el mayor de los siguientes valores obtenidos por dos métodos diferentes:

- Por especificaciones.

- Según la siguiente expresión:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + c = \frac{1541}{1000} + 2,54 + 1,5 = 4,58 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable: $t \text{ min} = 3 \text{ mm}$

- Por tensión circunferencial.
 - En función del diámetro exterior (D_0). Se supondrá válido el espesor de 5,58 mm obtenido por las especificaciones para determinar el diámetro exterior

$$t = \frac{P * D_0}{2S * E + 0,8P} + c = \frac{3,5 * (1541 + (2 * 4,58))}{(2 * 935,1 * 0,85) + (0,8 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 4,91 \text{ mm}$$

- En función del diámetro interior (D).

$$t = \frac{P * (D + 2c)}{2S * E - 1,2P} + c = \frac{3,5 * (1471 + 2 * 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (1,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t = 4,91 \text{ mm}$$

Se toma como válido el mayor de los cuatro valores anteriores. Es decir, el espesor mínimo será 4,91 mm que al normalizarlo se tendrá un espesor de envoltente de 5 mm.

Es necesario comprobar si este espesor calculado es válido para soportar los esfuerzos de compresión. Para ello se usa la siguiente expresión:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} = \frac{0,125 * t}{\frac{D}{2} + t} = \frac{0,125 * 5}{770,6 + 5} = 8 * 10^{-4}$$

Siendo R_0 el radio exterior de la envoltente (mm). Con este valor de A, el material del equipo (AISI 316L) y la temperatura de diseño (40°C), se obtiene el valor del parámetro B, bien mediante una gráfica o bien, analíticamente con la siguiente expresión:

$$B = \frac{A * E}{2}$$

Donde:

E es el módulo elástico en función de la temperatura,
 $28 \cdot 10^6$ (psi).

B es la tensión de compresión (psi).

$$B = \frac{8 \cdot 10^{-4} \cdot 28 \cdot 10^6}{2} = 11282 \text{ psi} = 793,11 \text{ kg/cm}^2$$

Al ser menor que la tensión máxima admisible del material (S), el espesor calculado es válido.

10.2. Espesor de los fondos

Los fondos del tanque de almacenamiento de crema de vinagre balsámico serán también fondos toriesféricos del tipo Klopper, siendo exactamente igual el fondo superior que el inferior.

El espesor de cada fondo será el mayor de los cuatro espesores calculados a continuación:

- Por especificación.
 - Según la siguiente expresión:

$$t_f = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(mm) = \frac{1541 + 2 \cdot 5}{1000} + 2,54 + 1,5$$

$$t_f = 5,59 \text{ mm}$$

- Para recipientes de acero inoxidable $t_f(\text{min}) = 3\text{mm}$
- Por tensión circunferencial. Se supone como válido el valor obtenido por especificación (5,59 mm) para determinar el radio exterior de la corona (L_0)

$$L_0 = L + t = D_0 + t = 1551 + 5,59 = 1559 \text{ mm} \quad L_0, \text{ radio exterior corona.}$$

$$L = D_0 = D + 2t = 1541 + 2 \cdot 5 = 1551 \text{ mm} \quad L, \text{ radio interior corona.}$$

- Conociendo los radios exteriores

$$t_f = \frac{1,54P * L_0}{2S * E + 1,34P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * 1557}{(2 * 935,1 * 0,85) + (1,34 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 6,76 \text{ mm}$$

- Conociendo los radios interiores

$$t_f = \frac{1,54P * (L + c)}{2S * E - 0,2P} + c = \frac{1,54 * 3,5 * (1551 + 1,5)}{(2 * 935,1 * 0,85) - (0,2 * 3,5)} + 1,5$$

$$t_f = 6,77 \text{ mm}$$

Se tomará como válido el mayor de los cuatro anteriores. En este caso es 6,77 mm. Al normalizarlo se tendrá como espesor de fondo 7 mm. Este valor debe comprobarse para saber si es válido o no. Para ello se usa la misma expresión:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} = \frac{0,125 * t}{\frac{D}{2} + t} = \frac{0,125 * 7}{770,6 + 7} = 1,12 * 10^{-3}$$

Siendo R_0 el radio exterior de la envolvente (mm). Con este valor de A, el material del equipo (AISI 316L) y la temperatura de diseño (40°C), se obtiene el valor del parámetro B, bien mediante una gráfica o bien, analíticamente con la siguiente expresión:

$$B = \frac{A * E}{2}$$

Donde:

E es el módulo elástico en función de la temperatura,
28*10⁶(psi)

B es la tensión de compresión (psi)

$$B = \frac{1,12 * 10^{-3} * 28 * 10^6}{2} = 15754 \text{ psi} = 1107,5 \text{ kg/cm}^2$$

Al ser mayor que la tensión máxima admisible del material (S), el espesor calculado no es válido.

Para recalcular el espesor, se supone B=S=13300 psi

$$13300 = \frac{A * 28 * 10^6}{2} \rightarrow A = \frac{13300 * 2}{28 * 10^6} \rightarrow A = 9,5 * 10^{-4}$$

$$R_0 = 770,6 + t$$

$$A = \frac{0,125}{\frac{R_0}{t}} \rightarrow 9,5 * 10^{-4} = \frac{0,125}{\frac{770,6 + t}{t}} \rightarrow t = 5,9 \text{ mm}$$

Se debe tomar un espesor normalizado de 6 mm. Con este dato se realizarán los cálculos de las tensiones.

10.3. Altura de la pestaña

El tanque de almacenamiento de crema de vinagre balsámico también tendrá dos fondos torisféricos de tipo Kloppe. Por lo tanto también tendrá dos pestañas, una en la parte inferior y otra en la parte superior. Ambas pestañas medirán lo mismo y su valor, h , se determinará por la siguiente expresión:

$$h \geq 3,5 * t_f = 3,5 * 6 = 21 \text{ mm}$$

10.4. Dimensiones reales del tanque

Al principio de este capítulo, se calculó el volumen de este tanque suponiendo que fuera cilíndrico. Ahora se puede calcular las dimensiones reales de este tanque teniendo en cuenta el volumen de la envolvente, el de los fondos y el de las pestañas.

Como anteriormente se ha mencionado, el volumen total del será un 15% superior al volumen útil. Para un volumen útil de trabajo de 5 m^3 , el volumen total de este equipo deberá ser de $5,75 \text{ m}^3$.

El volumen total puede descomponerse en la suma de los siguientes volúmenes:

$$V_{TOTAL} = V_{ENVOLVENTE} + 2 * V_{FONDO} + 2 * V_{PESTAÑA}$$

Para un fondo tipo Kloppe, el volumen del fondo es:

$$V_{FONDO} = 0,1 * D^3 = 0,1 * 1,541^3 \rightarrow V_{FONDO} = 0,366 m^3$$

El volumen de la pestaña puede calcularse con la siguiente expresión:

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi * 1,541^2}{4} * 0,021 \rightarrow V_{PESTAÑA} = 0,039 m^3$$

Sustituyendo, se calcula el volumen de la envolvente

$$5,75 = V_{ENVOLVENTE} + 2 * 0,366 + 2 * 0,039 \rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 4,94 m^3$$

De forma análoga, la altura del depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico es la suma de las siguientes alturas:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2 * H_{FONDOS} + 2 * H_{PESTAÑA}$$

La altura de la envolvente se puede calcular conocido el volumen de dicha envolvente.

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi * D^2}{4} * H_{ENV} \rightarrow H_{ENV} = \frac{4 * V_{ENVOLVENTE}}{\pi * D^2} = \frac{4 * 4,940}{\pi * 1,541^2}$$

$$H_{ENV} = 2,65 m$$

Para un fondo tipo Klopper, la altura de los fondos se calcula de la siguiente forma:

$$H_f = 0,2 * D_0 = 0,2 * 1,541 \rightarrow H_f = 0,311 m$$

Por lo tanto,

$$H_{TOTAL} = 2,65 + 2 * 0,311 + 2 * 0,021 \rightarrow H_{TOTAL} = 3,31 m$$

En la siguiente tabla se resume las dimensiones reales del depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico.

ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	5
	ALTURA (m)	2,65
	VOLUMEN (m³)	4,940
FONDOS	ESPESOR (mm)	6
	ALTURA (m)	0,366
	VOLUMEN (m³)	0,311
PESTAÑA	ALTURA (mm)	21

	VOLUMEN (m³)	0,021
ALTURA TOTAL (m)		3,31
DIAMETRO INTERIOR (m)		1,541
DIAMETRO EXTERIOR (m)		1,551
VOLUMEN ÚTIL (m³)		5
VOLUMEN TOTAL (m³)		5,75

TABLA XI.1: Dimensiones reales del depósito de crema de vinagre balsámico

10.5. Patatas de soporte

Para el soporte de este equipo también se va a usar patas porque tampoco se da ninguna de las especificaciones mencionadas en el apartado 'Soportes del fermentador' para el uso de faldones.

Las patas deberán sujetar todo el peso del tanque de almacenamiento y para su elección se sigue el código ASTM, Sección VIII. Los datos necesarios para el cálculo de los apoyos son el diámetro exterior del equipo y la longitud entre líneas de tangencia.

El diámetro de situación del eje de los taladros se obtiene de la siguiente ecuación:

$$D_0 - 50 = 1553 - 50 = 1503 \text{ mm}$$

Según la tabla IV.2, se usarán:

- 4 patas de tipo L, de dimensiones 100x100x10 de acero inoxidable AISI 316L.
- Irán soldadas a una placa cuadrangular de dimensiones 200x10 mm y esta placa se fijará al suelo por anclaje.
- La distancia al eje del taladro (A) será de 65 mm
- El diámetro de pernos será 27 mm
- El diámetro de taladros será de 33 mm

Según la tabla IV.3, al ser la longitud entre líneas de tangencia menor a 1830 mm, la longitud de soldadura (B) será de 150 mm.

10.6. Esfuerzos en recipientes a presión

El tanque de almacenamiento de crema de vinagre balsámico también está sometido a las mismas cargas:

- La presión interna
- El peso del recipiente y su contenido
- Las reacciones estáticas del equipo auxiliar, tuberías, revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos...

Como ya se mencionó anteriormente, no se va a tener en cuenta las cargas debidas a la presión del viento y fuerzas sísmicas.

- Tensión longitudinal.

Para calcular la tensión longitudinal se utiliza la siguiente expresión:

$$\sigma_{Pa} = \frac{P (D + 2c)}{4 (t - c)} = \frac{3,5 * (1541 + 2 * 1,5)}{4 * (6 - 1,5)}$$

$$\sigma_{Pa} = 300,25 \text{ kg/cm}^2$$

- Pesos y tensiones debidos a estos.

El peso del recipiente conlleva un esfuerzo por compresión

- Montaje y parada.

En las etapas de montaje y parada, la compresión es debida al peso de la envolvente sin líquido en su interior. El peso de la envolvente se calcula sabiendo su volumen y la densidad del material.

$$\rho_{ENV} = \frac{P_{ENV}}{V_{ENV}} \rightarrow P_{ENV} = \rho_{ENV} * V_{ENV}$$

Siendo $\rho_{ENV} = 7,85 \text{ kg/dm}^3$

$$V_{ENV} = \frac{\pi (D_0^2 - D^2)}{4} H_{ENV} = \frac{\pi * (15,53^2 - 15,41^2)}{4} * 26,5$$

$$V_{ENV} = 77,22 \text{ dm}^3$$

$$P_{ENV} = 7,85 * 77,22 = 606,19 \text{ kg}$$

Una vez calculado el peso de la envolvente, se puede calcular la tensión debida a este peso usando la siguiente expresión

$$\sigma_{PESO} = \frac{4P_{ENV} * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 606,19 * 10^2}{\pi * (1553^2 - (1541 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{PESO} = 2,77 \text{ kg/cm}^2$$

▪ Operación.

Cuando el equipo está en funcionamiento, se ejerce una compresión que es debida al peso de la envolvente, al peso del líquido de su interior, al peso de las tuberías y al peso de los fondos.

El peso de la envolvente es 606,19 kg.

El peso del líquido en el interior de la envolvente se calcula de la siguiente forma:

$$P_{LIQ.ENV} = V_{LIQ.ENV} * \rho_{LIQ.ENV}$$

La densidad de la crema de vinagre balsámico a 20°C es,
 $\rho_{VB} = 1350 \text{ kg/cm}^3$

El volumen de líquido que ocupa el vinagre en el interior de la envolvente es:

$$V_{LIQ.ENV} = \pi \frac{D^2}{4} H_{ENV} = \pi \frac{1,541^2}{4} * 2,65 = 4,94 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el peso del líquido en el interior de la envolvente será:

$$P_{LIQ.ENV} = 4,94 * 1350 = 6668,38 \text{ kg}$$

Para tener en cuenta el peso de las tuberías, se incrementará un 5% del peso del recipiente si la relación H/D es menor de 10, como es el caso de este proyecto.

$$P_{TUB} = 0,05 * P_{ENV} = 0,05 * 606,19 = 30,31 \text{ kg}$$

Como los fondos son de tipo Klopper, el peso del líquido de su interior se calcula con la siguiente expresión:

Como

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * D_d^2 * 8 * t_f$$

Siendo

D_d , diámetro del disco (m) $D_d = 1,2D_0 + 1,7h$

$$D_d = 1,2 * 1,553 + 1,7 * 0,021 = 1,90 \text{ m}$$

$$P_{FONDOS} = \frac{\pi}{4} * 1,90^2 * 8 * 6 = 136,02 \text{ kg}$$

La suma de todos los pesos calculados anteriormente será:

$$W_T = P_{ENV} + P_{LIQ.ENV} + P_{TUB} + 2 * P_{FONDOS}$$

$$W_T = 606,19 + 6668,38 + 30,31 + 2 * 136,02$$

$$W_T = 7576,91 \text{ kg}$$

La tensión debida a este peso se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{W_T} = \frac{4W_T * 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 * 7576,91 * 10^2}{\pi(1553^2 - (1541 + 2 * 1,5)^2)}$$

$$\sigma_{W_T} = 23,11 \text{ kg/cm}^2$$

○ Tensiones admisibles.

▪ Tensión admisible a tracción.

La tensión a tracción a la que está sometido el equipo en ningún caso podrá ser superior a la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño (40°C).

Esta tensión admisible a la tracción está especificada en el apartado UG-23a del Código ASTM, Sec. VIII, Div.1

para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 316L) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura ($E=0,85$).

$$\sigma_{TRACCIÓN} = S * E = 935,1 * 0,85$$

$$\sigma_{TRACCIÓN} = 794,835 \text{ kg/cm}^2$$

- Tensión admisible a compresión.
La máxima tensión a compresión a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

- Tensión admisible a la tracción para $E=1$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S * E = 935,1 * 1$$

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

- El valor del parámetro B calculado antes para la comprobación del espesor.

$$B = 13300 \text{ psi} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a compresión será $\sigma_{\text{compresión}} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a pandeo.
La máxima tensión a pandeo a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$\frac{1}{3} * \text{Límite elástico} = \frac{1}{3} * 1760 = 586,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$1,05 * 10^5 * \frac{(t - c)}{R_0} = 1,05 * 10^5 * \frac{(6 - 1,5)}{776,6} = 608,43 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a pandeo será $\sigma_{\text{PANDEO}} = 586,7 \text{ kg/cm}^2$.

- Tensión admisible a prueba.

La máxima tensión a prueba a la que puede estar sometido el equipo será el menor de los siguientes valores:

$$0,9 * \text{Límite elástico} = 0,9 * 1760 = 1584 \text{ kg/cm}^2$$

$$0,495 * \text{Carga rotura} = 0,495 * 4800 = 2376 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor que se toma como tensión admisible a prueba será $\sigma_{\text{prueba}} = 1584 \text{ kg/cm}^2$.

- Pruebas hidráulicas.

Todo recipiente a presión deberá ser comprobado antes de su puesta en marcha.

- Prueba inicial. El valor de la presión de prueba inicial en la parte superior del recipiente se determinará con la siguiente fórmula:

$$P_i = 1,5 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_i = 1,5 * 3,5 = 5,25 \text{ kg/cm}^2$$

- Prueba periódica. Se requiere una prueba periódica a una presión de:

$$P_p = 1,3 * P * \frac{S'}{S}$$

Donde

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

P es la presión de diseño (kg/cm^2).

S' es la tensión admisible a T ambiente (kg/cm^2).

S es la tensión admisible a T de diseño (kg/cm^2).

En este caso $S'=S$, por lo tanto:

$$P_p = 1,3 * 3,5 = 4,55 \text{ kg/cm}^2$$

- ❖ Espesor de la envolvente en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_H = \frac{(P_i + (L_X + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_i + (L_X + H) * 10^{-4})}$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

L_X es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestañas) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

$$t_H = \frac{(5,25 + (3001 + 311) * 10^{-4}) * 1553}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (5,25 + (3001 + 311) * 10^{-4})}$$

$$t_H = 3,21 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_H = \frac{(P_p + (L_X + H) * 10^{-4}) * D_0}{2\sigma * E + 0,8 * (P_p + (L_X + H) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_H es el espesor de la envolvente en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

L_x es la altura total (envolvente + fondo inferior + pestaña) (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

c es el sobre espesor para corrosión.

$$t_H = \frac{(4,55 + (3001 + 311) * 10^{-4}) * 1553}{2 * 1584 * 0,85 + 0,8 * (4,55 + (3001 + 311) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_H = 3,36 \text{ mm}$$

❖ Espesor de fondo inferior en función de las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_i + (H + H' + h) * 10^{-4})}$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior (mm).

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

$$t_f = \frac{1,54 * 1553 * (5,25 + (2 * 311 + 2 * 21) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (5,25 + (2 * 311 + 2 * 21) * 10^{-4})}$$

$$t_f = 4,72 \text{ mm}$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$t_f = \frac{1,54 * D_0 * (P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})}{2\sigma * E - 0,2(P_p + (H + H' + h) * 10^{-4})} + c$$

Donde

t_f es el espesor del fondo inferior en función de la presión de prueba (mm).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

h es la altura de las pestañas (mm).

H es la altura del fondo superior.

H' es la altura del fondo inferior (mm).

σ es la tensión máxima admisible a prueba (kg/cm^2).

c es el sobre-espesor para la corrosión (mm).

$$t_f = \frac{1,54 * 1553 * (4,55 + (2 * 311 + 2 * 21) * 10^{-4})}{2 * 1584 * 0,85 - 0,2 * (4,55 + (2 * 311 + 2 * 21) * 10^{-4})} + 1,5$$

$$t_f = 5,60 \text{ mm}$$

❖ Tensión longitudinal debida a las presiones de prueba

En función de la presión de prueba inicial:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_i + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4t}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_i es la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

$$\sigma_i = \frac{1553 * (5,25 + 3311 * 10^{-4})}{4 * 6} = 358,39 \text{ kg/cm}^2$$

En función de la presión de prueba periódica:

$$\sigma_i = \frac{D * (P_p + H_{TOTAL} * 10^{-4})}{4(t - c)}$$

Donde

σ_i es la tensión longitudinal debida a la presión de prueba inicial (kg/cm^2).

P_p es la presión de prueba periódica (kg/cm^2).

H_{total} es la altura del fermentador (mm).

c es el sobre-espesor de corrosión (1,5).

$$\sigma_i = \frac{1553 * (4,55 + 3311 * 10^{-4})}{4 * (6 - 1,5)} = 417,92 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

CAPÍTULO 17. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL FERMENTADOR

1. Calor generado durante la fermentación

Para diseñar el sistema de refrigeración que irá instalado en el interior del fermentador, es necesario evaluar la cantidad de calor que se va a generar durante la fermentación y así se podrá calcular la cantidad de calor que tendrá que absorber el fluido de refrigeración para que la temperatura en el interior del fermentador se mantenga dentro del intervalo óptimo.

La fermentación acética se produce mediante la siguiente reacción exotérmica:



Teniendo en cuenta que 1º de acético corresponden a 10 gramos de ácido acético por cada litro de vinagre y que el peso molecular del ácido acético es de 60,065 g/mol

$$\frac{10 \text{ g AcH}}{1 \text{ L vinagre}} \times \frac{1 \text{ mol}}{60,053 \text{ g AcH}} = 0,1665 \frac{\text{moles AcH}}{\text{vinagre L}}$$

0,1665 son los moles de de ácido acético que se generan por cada grado de acético y litro de vinagre. Suponiendo que todo el volumen del fermentador (1,25 m³) se transforma en vinagre:

$$0,1665 \frac{\text{moles AcH}}{1 \text{ L vinagre}} \times 1250 \text{ L vinagre} = 208,15 \text{ moles AcH}$$

208,15 son los moles de ácido acético que se generan por cada grado de acético producido. Dado que la velocidad de acetificación admitida es de 0,15 grados de acético a la hora, se genera 31,22 moles de ácido acético a la hora.

La estequiometria de la reacción es 1:1 para etanol-ácido acético, lo que significa que el etanol se transforma a una velocidad de 31,22 moles de etanol a la hora.

Debido a que en la fermentación acética se desprenden 495 kJ por cada mol de etanol transformado, se llega a la conclusión de que en el fermentador se desprenderán 15455 kJ a la hora.

Este calor desprendido corresponde al máximo posible, que será el que se desprende en la etapa de arranque.

2. Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración usado será un serpentín instalado en el interior del fermentador. Otra posibilidad sería usar camisas refrigeradoras pero necesitaría mayor superficie y por lo tanto mayor coste. Por este motivo, se elige como sistema de refrigeración el serpentín.

Para diseñar el serpentín es necesario saber el área de transmisión requerida para que produzca el intercambio de calor. El objetivo del sistema de refrigeración puede ser aumentar o disminuir la temperatura en el interior del fermentador o bien, como es el caso, mantenerla constante. En este caso, se necesita mantener la temperatura constante entre 28-31°C, ya que éste es el intervalo óptimo de temperatura para que se produzca la fermentación acética.

El intercambio de calor se producirá entre el medio fermentativo que se encuentra en el interior del reactor (fluido caliente) y el agua de la red que circulará por el serpentín (fluido frío).

La nomenclatura que se utilizará en los balances a ambos fluidos serán las siguientes:

T_E , temperatura de entrada del agua de refrigeración

T_S , temperatura de salida del agua de refrigeración

T_F , temperatura del medio fermentativo

ΔT , diferencia de temperatura entre el medio fermentativo y el agua de refrigeración

T_a , temperatura ambiente

a , área externa del serpentín

A , área interna del tanque

w , caudal másico del agua de refrigeración

U_c , coeficiente global de transmisión de calor de las paredes laterales del tanque

U_s , coeficiente global de transmisión de calor del serpentín

C_p , calor específico del agua de refrigeración

Los balances de calor para ambos fluidos vienen dados por la siguiente expresión:

$$(\text{ENTRADA}) + (\text{GENERACIÓN}) = (\text{SALIDA}) + (\text{ACUMULACIÓN})$$

- Balance al medio fermentativo

$$Q_g = [U_c * A * (T_F - T_a)] + [U_s * a * \Delta T_{mL}]$$

Donde:

Q_g es el calor generado durante la reacción (15455 kJ/h).

$U_c * A * (T_F - T_a)$ es el calor que se disipa a través de las paredes del fermentador.

$U_s * a * \Delta T_{mL}$ es el calor que se disipa a través de las paredes del serpentín. Se considera el ΔT_{mL} por que la diferencia de temperatura entre ambos fluidos varía a lo largo del serpentín.

(ACUMULACIÓN) será cero, ya que se considerará que el sistema alcanza estado estacionario.

(ENTRADA) será nula porque $T_F > T_a$. Solo se produce entrada cuando $T_a > T_F$

- Balance al agua de refrigeración

$$Q = -w * C_p * (T_E - T_S)$$

Donde:

Q es el calor absorbido por el serpentín.

w es el caudal másico de agua de refrigeración.

C_p es el calor específico del agua refrigerante.

T_E es la temperatura de entrada del agua de refrigeración.

T_S es la temperatura de salida del agua de refrigeración.

De ambos balances se desconocen los términos de ΔT_{mL} , U_s y U_c , que se calcularán en los siguientes apartados.

2.1. Incremento de temperatura medio logarítmico, ΔT_{mL}

La diferencia de temperatura entre el medio fermentativo y el agua de refrigeración varía a lo largo del serpentín. Por este motivo se define el incremento de temperatura medio logarítmico como:

$$\Delta T_{mL} = \frac{(T_F - T_E) - (T_F - T_S)}{\ln \frac{T_F - T_E}{T_F - T_S}}$$

2.2. Coeficiente global de transmisión de calor del serpentín, U_s

Para calcular la resistencia global a la transmisión de calor en el serpentín hay que tener en cuenta tres resistencias, la debida a la convección que se produce en el seno del agua de refrigeración, la debida a la conducción a través de las paredes del serpentín y la debida a la convección en el seno del medio fermentativo.

Suponiendo que el espesor de la conducción es suficientemente pequeño, el coeficiente global de transferencia se define como:

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{h_{si}} + \frac{e_s}{k} + \frac{1}{h_{se}}$$

Donde:

h_{si} es el coeficiente de convección en el seno del agua de refrigeración

e_s es espesor del serpentín

k es la conductividad térmica del serpentín

h_{se} es el coeficiente de convección en el seno del medio fermentativo

- Cálculo de h_{si}

Para calcular el coeficiente de convección en el seno del agua de refrigeración, se utiliza la ecuación de DITTUS-BOELTER.

$$Nu = 0,0243 * Re^{0,8} * Pr^{0,4}$$

Esta ecuación se expresa en función de los módulos adimensionales de Nusselt, Reynolds y Prandtl y podrá ser usada para:

$$Re > 10.000$$

$$0,7 < Pr < 700$$

Al depender del número de Reynolds, el valor del coeficiente de convección dependerá de la velocidad lineal. Esta velocidad no es conocida puesto que uno de los objetivos es calcular qué cantidad de agua de refrigeración será necesaria para evacuar el calor generado durante la fermentación. Por lo tanto, todas las ecuaciones se expresan en función del caudal másico del agua de refrigeración, 'w' o de su velocidad lineal, 'v'. Cuando se haya calculado dicho valor, se podrá calcular el coeficiente h_{si} .

Los números adimensionales de Reynolds y Prandtl se expresan de la siguiente forma:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} \qquad Pr = \frac{\mu * C_p}{k_{agua}}$$

El agua de refrigeración se encontrará a una temperatura próxima a 25°C. A esta temperatura, las propiedades del agua son:

$$\rho = 995 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,00095 \text{ kg/m*s}$$

$$C_p = 1 \text{ kcal/kg*}^\circ\text{C}$$

$$K = 0,514 \text{ kcal/h*m*}^\circ\text{C} = 1,428*10^{-4} \text{ kcal/s*m*}^\circ\text{C}$$

Para el serpentín se usará una tubería de acero inoxidable ASTM-Tp 316L, cuyas características son:

$$D_{EXT} \text{ (Diámetro externo)} = 28 \text{ mm}$$

$$e_s \text{ (Espesor)} = 2 \text{ mm}$$

$$D_{INT} \text{ (Diámetro interno)} = 24 \text{ mm}$$

$$k \text{ (Conductividad térmica)} = 15 \text{ W/m*K} = 12,92 \text{ kcal/h*m*K}$$

Con estos valores, se puede calcular los números adimensionales:

$$Re = \frac{995 * 0,024 * v}{0,00095} = 25136,84 * v \quad (m/s)$$

$$Pr = \frac{0,00095 * 1}{1,428 * 10^{-4}} = 6,65$$

Por lo tanto:

$$Nu = \frac{h_{Si} * D}{K} = 0,0243 * Re^{0,8} * Pr^{0,4}$$

$$Nu = \frac{h_{Si} * 0,024}{0,514} = 0,0243 * (25136,84 * v)^{0,8} * 6,65^{0,4}$$

$$h_{Si} = \frac{171,78 * v^{0,8} * 0,514}{0,024} = 3679,87 * v^{0,8}$$

Utilizando la ecuación de continuidad, se expresará en función del caudal másico:

$$Q = v * S \quad \rightarrow \quad v = \frac{Q}{S}$$

$$v \text{ (m/s)} = \frac{w}{\rho * S} = \frac{4 * w \text{ (kg/s)}}{\rho \text{ (kg/m}^3\text{)} * \pi * D^2 \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$h_{Si} = 3679,87 * \left(\frac{4 * w}{\rho * \pi * D^2} \right)^{0,8} = 3679,87 * \left(\frac{4 * w}{995 * \pi * 0,024^2} \right)^{0,8}$$

$$h_{Si} = 6968,89 * w^{0,8} \quad (kcal/h * m^2 * ^\circ C)$$

En el serpentín se crea una turbulencia en el flujo al no tratarse de un tubo recto. Esta turbulencia debe ser considerada y para ello se utiliza la correlación de McAdams que define el coeficiente de convección corregido:

$$h_{Si,c} = h_{Si} * \left(1 + 3,5 * \frac{D}{D_e} \right)$$

Siendo D_e el diámetro de la espiral que describe el serpentín, en este caso 0,88 m. Este valor se obtiene de dejar un margen

de 10 cm a cada lado, dependiendo del diámetro interno del fermentador.

$$h_{Si,c} = 6968,87 * w^{0,8} * \left(1 + 3,5 * \frac{0,024}{0,88}\right) = 7634,86 * w^{0,8}$$

- Cálculo de e_s/k

La resistencia que se produce por conducción a través de las paredes del serpentín se calcula conociendo el espesor y la conductividad térmica de dicho serpentín:

$$\frac{e_s}{k} = \frac{0,002 \text{ m}}{15,07 \text{ (kcal/h * m * K)}} = 1,3 * 10^{-4} \text{ (h * m}^2 \text{ * K/kcal)}$$

- Cálculo de h_{se}

El cálculo del coeficiente de convección en el medio fermentativo es bastante complejo ya que el mecanismo predominante de transmisión de calor en la masa del fermentador debe ser la convección forzada por la aireación.

La bibliografía proporciona este dato, siendo su valor 493 kcal/h*m²*°C.

- Cálculo de U_s

Una vez conocidos los valores de los tres sumandos de la ecuación anteriormente descrita, se podrá conocer el valor del coeficiente global de transmisión de calor del serpentín en función del caudal másico, w .

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{h_{Si}} + \frac{e_s}{k} + \frac{1}{h_{se}}$$

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{7634,86 * w^{0,8}} + 1,3 * 10^{-4} + \frac{1}{493}$$

$$\frac{1}{U_s} = 0,00013 * w^{-0,8} + 0,00216$$

El coeficiente global de transmisión de calor en el serpentín dependerá del caudal másico de agua de refrigeración.

2.3. Coeficiente global de transmisión de calor del tanque, U_C

Análogamente, el coeficiente global de transferencia en las paredes del tanque se calculará teniendo en cuenta tres resistencias, la debida a la convección que se produce en el medio fermentativo, la debida a la conducción a través de las paredes del fermentador y la debida a la convección libre en el exterior del fermentador.

$$\frac{1}{U_C} = \frac{1}{h_{Ci}} + \frac{e_C}{k} + \frac{1}{h_{Ce}}$$

Donde:

h_{Ci} es el coeficiente de convección en el medio fermentativo.

e_C es espesor del fermentador.

k es la conductividad térmica del fermentador.

h_{Ce} es el coeficiente de convección en el aire exterior del fermentador.

- Cálculo de h_{Ci}

Este dato se calculó en el apartado anterior como h_{Se} . Por lo tanto $h_{Ci} = 493 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$

- Cálculo de e_C/k

El espesor del fermentador se calculó en el capítulo 17 'Diseño mecánico de recipientes a presión', en concreto en el apartado 3 'Diseño mecánico del fermentador'. El espesor de este fermentador es de 4 mm.

La conductividad térmica del acero inoxidable AISI 316L es de $15,07 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$.

Por lo tanto:

$$\frac{e_c}{k} = \frac{0,004 \text{ m}}{15,07 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * \text{m} * ^\circ\text{C}} = 2,65 * 10^{-4} \text{ h} * \text{m}^2 * ^\circ\text{C}/\text{kcal}$$

- Cálculo de h_{ce}

La pared del fermentador está en contacto con el aire. En este caso la convección que se da no es forzada sino libre. Para el cálculo del coeficiente de convección externo a un fermentador de forma cilíndrica se va a utilizar la siguiente ecuación empírica en la que interviene los módulos adimensionales de Nusselt, Prandtl y Grashof.

$$Nu = \alpha * (Pr * Gr)^\delta$$

Esta expresión es válida para $Pr > 0,6$ mientras que en la siguiente tabla se recogen los valores de los coeficientes α y δ que dependen del producto de los números de Prandtl y Grashof.

(Pr*Gr)	α	δ
$(Pr*Gr) < 10^4$	1,36	1/5
$10^4 < (Pr*Gr) < 10^9$	0,55	1/4
$(Pr*Gr) > 10^9$	0,13	1/3

TABLA XII.1: Valores de α y δ para convección natural-placas y cilindros verticales, $l > 1\text{m}$ ('Flujo de fluidos e intercambio de calor' O. Levenspiel, 1.993)

Los números de Prandtl y Grashof quedan definidos por las siguientes expresiones.

$$Pr = \frac{C_p * \mu}{K} \quad Gr = \frac{g * \beta * H^3 * (T_p - T_a) * \rho^2}{\mu^2}$$

Donde:

C_p es el calor específico del aire, $C_p=0,24 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 μ es la viscosidad del aire, $\mu=1,85*10^{-5} \text{ kg/m}^*\text{s}$
 K es la conductividad del aire, $K=0,0221 \text{ kcal/h}^*\text{m}^*\text{C}$
 ρ es la densidad del aire, $\rho=1,18 \text{ kg/m}^3$
 g es la aceleración de la gravedad, $g=9,81 \text{ m/s}^2$
 T_a es la temperatura ambiente, $T_a=20^\circ\text{C}=293\text{K}$

β es el coeficiente de expansión volumétrica. Si se aproxima el aire a un gas ideal, β se calcularía con la siguiente expresión.

$$\beta = \frac{1}{T_a} = \frac{1}{293} = 3,41 * 10^{-3} K^{-1}$$

T_p es la temperatura de la pared del fermentador. Aproximadamente, $T_p = 31^{\circ}C$ para que la resistencia de la pared del fermentador sea muy pequeña en comparación con las otras dos. ($T_p = 304K$)

H es la altura del fermentador, $H = 1,68$ m

Por lo tanto:

$$Pr = \frac{0,24 * 1,85 * 10^{-5}}{\frac{0,0221}{3600}} = 0,723$$

$$Gr = \frac{9,81 * 3,41 * 10^{-3} * 1,68^3 * (304 - 293) * 1,18^2}{(1,85 * 10^{-5})^2} = 7,1 * 10^9$$

Para saber que valores de α y δ hay que usar, hay que calcular el producto:

$$Pr * Gr = 5,14 * 10^9$$

Por lo tanto $\alpha = 0,13$ y $\delta = 1/3$

La expresión más adecuada para el cálculo de Nusselt será la siguiente:

$$Nu = 0,13 * (Pr * Gr)^{\frac{1}{3}} = 224,33$$

El número de Nusselt queda definido como:

$$Nu = \frac{h_{ce} * H}{k}$$

Por lo tanto, el coeficiente de convección externo será:

$$224,33 = \frac{h_{ce} * 1,68}{0,0221} \rightarrow h_{ce} = 2,95 \frac{kcal}{h * m^2 * ^{\circ}C}$$

Una vez conocidos los valores de los tres sumandos de la ecuación anteriormente descrita, se podrá conocer el valor del coeficiente global de transmisión de calor del fermentador, U_c :

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{h_{ci}} + \frac{e_c}{k} + \frac{1}{h_{ce}}$$

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{493} + 2,65 * 10^{-4} * \frac{1}{2,95} = 0,34$$

$$U_c = 2,93 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Este coeficiente global de transmisión de calor en las paredes del fermentador se ha calculado para una temperatura ambiente de 20°C pero podrá ser usado cuando esta temperatura sea diferente porque la variación de U_c sería mínima. El valor de este coeficiente es muy pequeño en comparación con el coeficiente global de transmisión de calor en el serpentín y en el medio fermentativo. Esto significa que el calor disipado al exterior del fermentador es muy pequeño en comparación con el calor que es capaz de retirar el agua de circulación.

2.4. Grados de libertad y variables de diseño

Los grados de libertad de un sistema son el número de variables que se deberán especificar para poder calcular el resto de las variables. Los grados de libertad de un sistema dependerán del número de variables y de las ecuaciones que definan dicho sistema según la siguiente expresión:

$$(\text{GRADOS DE LIBERTAD}) = (\text{N}^\circ \text{ VARIABLES}) - (\text{N}^\circ \text{ ECUACIONES DE DISEÑO})$$

Para el diseño del serpentín se tienen tres ecuaciones de diseño, dos balances de energía y un incremento de temperatura medio logarítmico y un total de 13 variables que se recogen en la siguiente tabla:

Nº	VARIABLE
1	U_c , coeficiente global de transmisión de calor entre el medio fermentativo y el ambiente.
2	U_s , coeficiente global de transmisión de calor entre el agua de refrigeración y la masa de fluido del fermentador.
3	A , Área del fermentador en contacto con el exterior
4	a , Área del serpentín.
5	Q_g , Cantidad de calor que originará la fermentación.
6	Q , Calor absorbido por el serpentín
7	w , caudal de agua de refrigeración.
8	C_p , Calor específico del agua de refrigeración.
9	T_F , Temperatura del medio fermentativo.
10	T_a , Temperatura ambiente.
11	T_E , Temperatura de entrada del agua de refrigeración.
12	T_S , Temperatura de salida del agua de refrigeración.
13	ΔT_{mL} , Incremento de temperatura media logarítmico

TABLA XIII.1: Lista de variables para el diseño del serpentín

En la siguiente tabla se desarrolla las cuatro ecuaciones de diseño implicadas en este sistema:

Nº	ECUACIONES DE DISEÑO
(1)	$Q_g = [U_c * A * (T_F - T_a)] + [U_s * a * \Delta T_{mL}]$
(2)	$Q = -w * C_p * (T_E - T_S)$
(3)	$\Delta T_{mL} = \frac{\Delta T_E - \Delta T_S}{Ln \frac{\Delta T_E}{\Delta T_S}}$
(4)	$\frac{1}{U_s} = 3,97 * 10^{-4} * w^{-0,8} + 2,12 * 10^{-3}$

TABLA XIII.2: Lista de relaciones de diseño para el diseño del serpentín

Por lo tanto el serpentín tendrá un total de nueve grados de libertad pero ocho de ellos corresponden a las variables que tienen valor fijo que son las siguientes:

$$U_c = 2,93 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Q_g = 15455 \text{ kJ/h} = 3688,54 \text{ kcal/h}$$

$$C_p = 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_F = 31^\circ\text{C}$$

$$T_E = 25^\circ\text{C} \text{ o } 15^\circ\text{C} \text{ (Dependiendo de la época del año)}$$

$$T_a = 20^\circ\text{C}$$

$$A = 7,52 \text{ m}^2$$

Este valor de A se ha obtenido considerando el fermentador como un cilindro de altura 1,68 m y de diámetro 1,079 m. El área de contacto entre el fermentador y el exterior será la suma del área de la envolvente y el área de los dos fondos.

$$A = 2\pi R^2 + 2\pi Rh = 2\pi * 0,5395^2 + 2\pi * 0,5395 * 1,68$$

$$A = 7,52 \text{ m}^2$$

$$Q = 3448,87 \text{ kcal/h}$$

Este calor absorbido por el serpentín puede ser calculado como la resta entre el calor generado en la fermentación y el calor que se disipa a través de las paredes del fermentador:

$$Q = Q_g - U_c * A * (T_F - T_a)$$

$$Q = 3688,54 - 2,93 * 7,52 * (31 - 20)$$

$$Q = 3445,96 \text{ kcal/h}$$

Se tendrá por lo tanto solo un grado de libertad o lo que es lo mismo una variable de diseño.

Al tener 8 variables fijas, quedan 5 variables (a , w , T_s , U_s y ΔT_{mL}). Para elegir cuál de estas variables será la variable de diseño y cuáles serán las variables de estado se usará el método llamado 'Algoritmo de selección de variables de diseño'.

Para llevar a cabo el 'Algoritmo de selección de variables de diseño' se siguen los siguientes pasos:

Primero se construirá una tabla de doble entrada con tantas columnas como variables y tantas filas como ecuaciones de estado tenga el sistema. En esta tabla se marcará con una X las variables que intervienen en cada ecuación.

		VARIABLES												
		U_c	U_s	A	A	Q_g	Q	W	C_p	T_F	T_a	T_E	T_s	ΔT_{mL}
ECUACIONES DE DISEÑO	(1)	X	X	X	X	X				X	X			
	(2)		X		X		X	X	X			X	X	
	(3)											X	X	X
	(4)		X					X						

El siguiente paso es eliminar de la tabla anterior las columnas que corresponden a las variables fijas. Por lo tanto la tabla queda reducida de la siguiente manera.

		VARIABLES				
		A	w	T_s	ΔT_{mL}	U_s
ECUACIONES DE DISEÑO	(1)	X			X	X
	(2)		X	X		
	(3)			X	X	
	(4)		X			X

En el siguiente paso se tacha la columna que solo tenga una X (en este caso la correspondiente a la variable 'a') y su fila correspondiente (en este caso la correspondiente a la ecuación de diseño (1)).

		VARIABLES				
		a	w	T_s	ΔT_{mL}	U_s
ECUACIONES DE DISEÑO	(1)	X			X	X
	(2)		X	X		
	(3)			X	X	
	(4)		X			X

1º

En el siguiente paso se volverá a eliminar la columna que tenga una X. En este caso se podría elegir entre la columna correspondiente a la variable ' U_s ' y la correspondiente a la ' ΔT_{mL} '. Se elige eliminar la columna correspondiente a la variable U_s y por lo tanto, la fila correspondiente a la ecuación de diseño (4).

		VARIABLES				
		a	w	T _s	ΔT _{mL}	U _s
ECUACIONES DE DISEÑO	(1)	X			X	X
	(2)		X	X		
	(3)			X	X	
	(4)		X			X

Diagram illustrating the first elimination step. The first column (a) is circled in blue, and the first row (1) is circled in blue. The second column (w) is circled in red, and the second row (4) is circled in red. Arrows indicate the elimination of the first column and the second row.

Para la tercera eliminación se elige la columna correspondiente a 'w' y su fila correspondiente.

		VARIABLES				
		a	w	T _s	ΔT _{mL}	U _s
ECUACIONES DE DISEÑO	(1)	X			X	X
	(2)		X	X		
	(3)			X	X	
	(4)		X			X

Diagram illustrating the second elimination step. The first column (a) is circled in blue, and the first row (1) is circled in blue. The second column (w) is circled in green, and the second row (4) is circled in red. Arrows indicate the elimination of the first column and the second row.

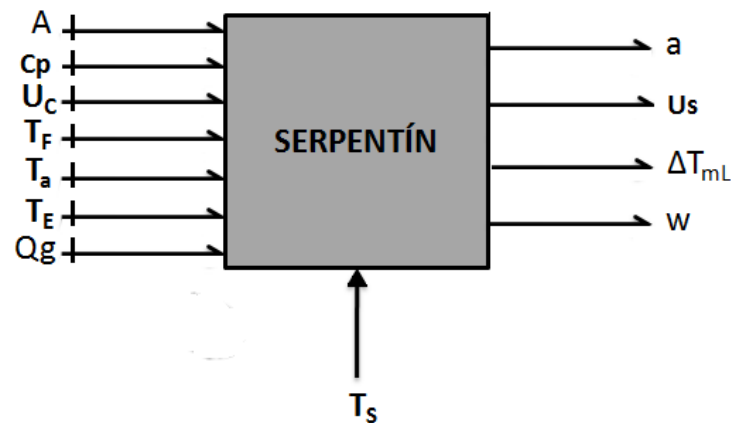
Para la cuarta eliminación, se elige la columna correspondiente a 'ΔT_{mL}' y su fila correspondiente.

		VARIABLES				
		a	w	T _s	ΔT _{mL}	U _s
ECUACIONES DE DISEÑO	(1)	X			X	X
	(2)		X	X		
	(3)			X	X	
	(4)		X			X

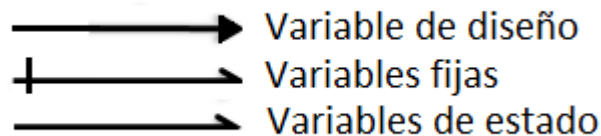
Diagram illustrating the third elimination step. The first column (a) is circled in blue, and the first row (1) is circled in blue. The second column (w) is circled in green, and the second row (4) is circled in red. The third column (T_s) is circled in purple, and the third row (3) is circled in purple. Arrows indicate the elimination of the first column and the second row.

Por lo tanto, la variable de diseño será T_s al ser la última columna que queda sin eliminar.

El diagrama de flujo de información del serpentín será el siguiente.



Siendo



El orden de eliminación determina el orden de cálculo. Primero se le da un valor a la variable de diseño, la temperatura de salida del agua de refrigeración. Con este dato y los datos conocidos de T_E Y T_F , se calcula ΔT_{mL} (variable correspondiente a la cuarta eliminación) usando la ecuación de diseño (3). A continuación, se calcula la variable ' w ' (variable correspondiente a la tercera eliminación) con la ecuación de diseño (2). Posteriormente con el dato de ' w ' y la ecuación de diseño (4) se calcula el valor de U_s (variable correspondiente a la segunda eliminación). Por último con los datos de ΔT_{mL} , A , C_p , U_c , U_s , T_F , T_a , se calcula el valor ' a ' (variable correspondiente a la primera eliminación) usando la ecuación de diseño (1).

2.5. Condiciones de operación del serpentín

Cuando los valores de la temperatura de entrada y salida del agua de refrigeración (T_E y T_s) y la temperatura ambiente (T_a) estén fijados, quedará fijada una combinación óptima entre el área del serpentín (a) y el caudal de agua de refrigeración (w).

Pero la temperatura de entrada del agua de refrigeración no se puede fijar constante por que al tratarse de agua de la red, la temperatura de ésta variará a lo largo del año y dependerá de las condiciones climáticas.

Por lo tanto el algoritmo de selección de variables de diseño explicado en el apartado anterior será aplicado para dos temperaturas de entrada de agua de refrigeración diferente, la mínima (15°C) y máxima hidráulica que se da en la zona donde se va a instalar la planta (25°C).

Se fijan varios valores de temperatura de salida del agua de refrigeración y siguiendo el orden de cálculo obtenido en el algoritmo se determina el área del serpentín y el caudal de agua de refrigeración necesario.

Sabiendo el área del serpentín y conociendo su diámetro, se podrá calcular su longitud ya que permite tener una idea más adecuada de las dimensiones que va tener el serpentín. Esta longitud se calculará fácilmente con la siguiente expresión, puesto que la sección del serpentín es circular:

$$l = \frac{a}{\pi * D_0}$$

Siendo 'l' la longitud del serpentín, 'a' el área de intercambio del serpentín y 'D₀' el diámetro exterior del serpentín. El serpentín es un tubo de acero inoxidable de diámetro exterior 28 mm.

Una vez calculada la longitud del serpentín, se podrá calcular el número de vueltas que debe tener la espiral a partir de la siguiente expresión:

$$n = \frac{a}{\pi^2 * D_e * D_0}$$

Siendo 'D_e' el diámetro de la espiral que en este caso es 0,88 m.

Considerando una temperatura de entrada del agua de refrigeración de 15°C, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

T_s (°C)	ΔT_{ml}	w (kg/h)	w (kg/s)	U_s (kcal/h m ² °C)	a (m ²)	l (m)	N
16	15,49	3445,96	0,96	435,40	0,51	5,81	2,10
18	14,45	1148,65	0,32	401,97	0,59	6,75	2,44
20	13,34	689,19	0,19	376,98	0,69	7,79	2,82
22	12,17	492,28	0,14	356,57	0,79	9,03	3,27
24	10,89	382,88	0,11	339,24	0,93	10,61	3,84
26	9,46	313,27	0,09	324,17	1,12	12,78	4,63
28	7,77	265,07	0,07	310,87	1,43	16,23	5,88
30	5,41	229,73	0,06	298,96	2,13	24,22	8,77

TABLA XIV.1 Área necesaria de intercambio y caudal del agua de refrigeración para distintas temperaturas de salida T_s y una temperatura de entrada de 15°C.

De igual forma, considerando que la temperatura de entrada del agua de refrigeración fuese 25°C, se obtiene los siguientes resultados:

T_s (°C)	ΔT_{mL}	w (kg/h)	w (kg/s)	U_s (kcal/h m ² °C)	a (m ²)	l (m)	N
26	5,48	3445,96	0,96	435,397	1,44	16,40	5,94
27	4,93	1722,98	0,48	417,140	1,67	19,04	6,89
28	4,33	1148,65	0,32	401,967	1,98	22,52	8,15
29	3,64	861,49	0,24	388,757	2,43	27,68	10,02
30	2,79	689,19	0,19	376,980	3,28	37,24	13,49

TABLA XIV.2 Área necesaria de intercambio y caudal del agua de refrigeración para distintas temperaturas de salida T_s y una temperatura de entrada de 25°C.

Para diseñar el serpentín se considera el caso más desfavorable al que el sistema podría hacer frente. Entre las dos posibles temperaturas de entrada del agua de refrigeración, el intercambio de calor será más favorable cuando ésta sea 15°C ya que existirá una mayor diferencia de temperatura con el medio fermentativo, que se encontrará a 31°C. Por lo tanto, el intercambio de calor será más desfavorable cuando la temperatura de entrada del agua de refrigeración sea de 25°C. Se elegirá como variable de diseño que la temperatura de salida del agua de refrigeración sea de 29°C. Con este valor se obtiene un área de intercambio de calor mayor que la obtenida para cualquier temperatura de salida cuando la de entrada sea de 15°C. Con esta elección se consigue cubrir tanto el extremo mínimo como máximo que se pueda dar en el sistema. Además el caudal de agua de refrigeración obtenido para esta

temperatura queda bastante reducido con respecto al obtenido para las temperaturas de salida de 27°C y 28°C. El gasto que conlleva necesitar un área de intercambio mayor queda compensado con el ahorro que conlleva el uso de un caudal de agua de refrigeración mucho menor. Por lo tanto se elige como variable de diseño $T_S = 29^\circ\text{C}$.

Las dimensiones del serpentín para una temperatura de entrada de agua de refrigeración $T_E = 25^\circ\text{C}$ y una temperatura de salida $T_S = 27^\circ\text{C}$ son las siguientes:

Área de intercambio, $a = 2,43 \text{ m}^2$

Caudal de agua, $w = 0,24 \text{ kg/s} = 861,49 \text{ kg/h}$.

Longitud del serpentín, $l = 27,68 \text{ m}$

Se puede calcular el calor retirado por el sistema de refrigeración con la siguiente expresión:

$$Q = w * C_p * \Delta T = 861,49 * 1 * (29 - 25)$$

$$Q = 3445,96 \text{ kcal/h}$$

En el primer apartado de este capítulo, se calculó que el calor generado durante la fermentación era de 15455 kJ/h o lo que es lo mismo, 3688,54 kcal/h. Por lo tanto se comprueba que el calor que se disipa al exterior del fermentador es 242,58 kcal/h.

Además se comprueba que el calor absorbido por el sistema de refrigeración, sale igual si se calcula por la resta entre el calor generado en la fermentación y el calor que se disipa a través de las paredes del fermentador o por el balance al agua de refrigeración, 3445,96 kcal/h.

2.6. Dimensiones del serpentín

El serpentín será del mismo material que el fermentador, acero inoxidable 316L porque va a estar instalado en el interior del equipo, sumergido en el medio fermentativo y por lo tanto en contacto directo con el vinagre.

Las medidas del serpentín se muestran en la siguiente tabla:

D_{NOM} (in)	D_0 (m)	D (m)	D_e (m)
7/64	0,028	0,024	0,88

TABLA XIV.3: Características nominales del serpentín

Siendo D_e es diámetro de la espiral. Este valor se obtiene de dejar un margen de unos 10 cm a cada lado del fermentador, en función de su diámetro interno.

En el apartado anterior se calculó las dimensiones del serpentín y se obtuvo que este debiera tener un número de vueltas de 10,02 que tomando como valor exacto será 11.

Conocido el número de vueltas y el diámetro exterior del serpentín, se puede calcular la altura de la estructura con la siguiente expresión:

$$h = 2 * n * D_0 = 2 * 11 * 0,028$$

$$h = 0,62 \text{ m}$$

Recalculando entonces para un serpentín de once vueltas se tendrá los siguientes datos finales.

n	h (m)	a (m²)	l (m)	w (kg/s)	U_s (kcal/h*m²*°C)
11	1,62	2,67	30,4	0,24	297

2.7. Parámetros definitivos del sistema de refrigeración

- Cálculo del coeficiente de convección en el interior del serpentín, h_{Si} :

En el apartado 2.2 de este capítulo 'Coeficiente global de transmisión de calor del serpentín, U_s ' no se pudo determinar el coeficiente de transmisión de calor por convección en el interior del serpentín (h_{Si}) por que dependía del caudal másico de agua refrigerante según la siguiente expresión.

$$h_{Si,c} = 7634,86 * w^{0,8}$$

En dicha expresión el caudal másico del agua de refrigeración debe estar en kg/s para obtener el h_{Si} en kcal/h*m²*°C, por lo tanto

$$h_{Si,c} = 7634,86 * 0,24^{0.8} = 2431,98 \text{ kcal/h} * m^2 * ^\circ C$$

Se debe comprobar el valor del número de Reynolds para verificar que se eligió correctamente la ecuación para el cálculo del coeficiente de convección en el interior del serpentín. La expresión del número de Reynolds en función de la velocidad lineal del agua de refrigeración fue también deducida en el apartado 2.2 de este capítulo y es la siguiente:

$$Re = 25136,84 * v$$

Para calcular la velocidad lineal en función del caudal másico del agua de refrigeración se usa la ecuación de continuidad:

$$Q = v * S \rightarrow v = \frac{Q}{S}$$

$$v (m/s) = \frac{w}{\rho * S} = \frac{4 * w (kg/s)}{\rho (kg/m^3) * \pi * D^2 (m^2)}$$

$$v = \frac{4 * 0,24}{995 * \pi * 0,024^2} = 0,53 \text{ m/s}$$

Conociendo la velocidad lineal del agua de refrigeración, se puede calcular el número de Reynolds en el interior del serpentín:

$$Re = 25136,84 * v = 25136,84 * 0,53$$

$$Re = 13363,59$$

Queda demostrado que se eligió correctamente la ecuación utilizada para el cálculo de h_{Si} porque las condiciones para su uso son:

$$Re > 10.000$$

$$0,7 < Pr < 700$$

- Cálculo de h_{se} y h_{ci}

En el apartado 2.2 de este capítulo, se buscó en la bibliografía el valor del coeficiente de convección en el medio fermentativo (llamado h_{se} y h_{ci}) porque su estimación era muy compleja. Este valor era $493 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$. Ahora se puede determinar el valor exacto a partir del coeficiente global de transmisión de calor en el serpentín con la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{h_{si}} + \frac{e_s}{k} + \frac{1}{h_{se}} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{U_s} - \frac{e_s}{k} - \frac{1}{h_{si}}$$

$$\frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{297} - 1,3 \cdot 10^{-4} - \frac{1}{2431,98} = 2,82 \cdot 10^{-3}$$

$$h_{se} = 354,3 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Este valor no es exactamente igual al que se usó como dato bibliográfico, $h_{se} = 493 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Este nuevo valor de h_{se} provocará una pequeña variación en los valores de U_c .

Al recalcular U_c se tiene el mismo valor.

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{h_{ci}} + \frac{e_c}{k} + \frac{1}{h_{ce}}$$

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{354,3} + 2,65 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{2,95} = 0,34$$

$$U_c = 2,92 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

A modo de resumen, en la siguiente tabla se recoge todos los resultados definitivos.

$U_s \text{ (kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C)}$	297
$h_{si} \text{ (kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C)}$	2431,98
$E_s/k \text{ (kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C)}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
$h_{se} \text{ (kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C)}$	354,3

TABLA XV.1: Valores de las distintas resistencias a la transmisión de calor en el cálculo de U_s

U_c (kcal/h*m ² *°C)	2,92
h_{ci} (kcal/h*m ² *°C)	354,3
e_c/k (kcal/h*m ² *°C)	$2,65*10^{-4}$
h_{ce} (kcal/h*m ² *°C)	2,95

TABLA XV.2: Valores de las distintas resistencias
a la transmisión de calor en el cálculo de U_c

CAPÍTULO 18. CONDUCCIONES

Un sistema de tuberías está compuesto por tuberías, accesorios, bridas y válvulas. Los sistemas de tuberías representan aproximadamente un tercio del coste del material, entre un 30 y 40% del trabajo de montaje, consumen entre un 40 y 48% de las horas-hombres de ingeniería y ocupan un 60% del volumen de material.

1. Parámetros de diseño del sistema de tuberías

El diseño de tuberías sigue la norma ANSI B31.3 que trata de plantas de procesos químicos y refinerías de petróleo.

1.1. Presión de diseño

La presión de diseño de cada zona distinta de conducciones será la presión de diseño del equipo al que va conectado dicha conducción. Todos los equipos del presente proyecto trabajan a una presión de diseño de $3,5 \text{ kg/cm}^2$, por lo tanto todas las conducciones trabajan a esa presión de diseño. La conducción del serpentín es la única excepción ya que trabajará a la presión de trabajo de la red de abastecimiento de agua local. Esta presión de trabajo depende de la zona, para el presente proyecto es de 4 kg/cm^2 .

1.2. Temperatura de diseño

En el presente proyecto, el fluido que circula por las tuberías lo hará siempre a una temperatura inferior a 38°C , por lo tanto la temperatura de cada zona de conducción será la misma que la del fluido que circula por ella.

Por lo tanto, todas las conducciones van a tener una temperatura de 20°C , salvo la conducción de descarga del fermentador y por lo tanto alimentación del mezclador 1, que tendrá una temperatura de 31°C y la conducción del agua de refrigeración que tendrá una temperatura de 25°C .

1.3. Material de construcción

El material usado para la construcción de cada conducción dependerá del fluido que circula por su interior.

En el presente proyecto hay conducciones por las que circula mosto, en otras circulan mosto concentrado, vino Pedro Ximénez, vinagre de vino, vinagre balsámico y crema de vinagre balsámico. Las propiedades de estos fluidos se citan a continuación:

- Mosto
 - $\rho_{\text{MOSTO}} = 1000 \text{ kg/m}^3$
 - $\mu = 0,0025 \text{ kg/m}^*\text{s}$
- Mosto concentrado
 - $\rho_{\text{MOSTO.C}} = 1450 \text{ kg/m}^3$
 - $\mu = 0,01 \text{ kg/m}^*\text{s}$
- Vino Pedro Ximénez 12,5% v/v a 20°C
 - $\rho_{\text{VINO P.X}} = 1100 \text{ kg/m}^3$
 - $\mu = 0,0025 \text{ kg/m}^*\text{s}$
- Medio fermentativo a 31°C
 - $\rho_{\text{VINAGRE P.X}} = 1003,7 \text{ kg/m}^3$
 - $\mu = 0,004 \text{ kg/m}^*\text{s}$
- Vinagre balsámico 14° Be a 20°C
 - $\rho_{\text{VB}} = 1200 \text{ kg/m}^3$
 - $\mu = 0,007 \text{ kg/m}^*\text{s}$
- Crema de vinagre balsámico 21° Be a X°C
 - $\rho_{\text{CVB}} = 1350 \text{ kg/m}^3$
 - $\mu = 0,0085 \text{ kg/m}^*\text{s}$
- Agua de refrigeración a 25°C
 - $\rho_{\text{AGUA}} = 995 \text{ kg/m}^3$
 - $\mu_{\text{AGUA}} = 0,00095 \text{ kg/m}^*\text{s}$

En el presente proyecto las conducciones van a ser construidas de acero inoxidable. Al igual que en los equipos a presión, se elegirá acero inoxidable AISI 316L o AISI 304L en función del fluido que circule por cada conducción. Por lo tanto todas las conducciones serán de acero inoxidable AISI 316L menos la conducción de entrada al fermentador que será de acero inoxidable AISI 304L.

1.4. Cálculo del diámetro nominal

El diseño de las tuberías conlleva el cálculo del diámetro interno necesario y la pérdida de carga que sufre el líquido que circula en su interior.

En la siguiente tabla quedan enumeradas todas las conducciones que se tendrán en la planta con el servicio que realizan cada una de ellas.

CONDUCCIÓN	SERVICIO
L ₁	Conducción de alimentación del fermentador.
L ₂	Conducción de descarga del fermentador. Conducción de alimentación del filtro tangencial.
L ₃	Conducción de descarga del filtro tangencial. Conducción de alimentación del mezclador 1.
L ₄	Conducción de alimentación del evaporador.
L ₅	Conducción de descarga del evaporador.
L ₆	Conducción de alimentación del mezclador 1.
L ₇	Conducción de descarga del mezclador 1. Conducción de alimentación del depósito de vinagre balsámico.
L ₈	Conducción de descarga del mezclador 1. Conducción de alimentación del mezclador 2.
L ₉	Conducción de alimentación del mezclador 2 de mosto concentrado.
L ₁₀	Conducción de descarga del mezclador 2. Conducción de alimentación del depósito de crema de vinagre balsámico.
L ₁₁	Conducción del serpentín.

TABLA XV.1: Diferentes conducciones para la impulsión de líquidos

Para diseñar la red de tuberías se debe conocer el caudal que suministra cada bomba:

- Bomba de alimentación del fermentador (B₁):

El caudal de alimentación del fermentador está fijado por la velocidad de dilución. Según la bibliografía, para la fermentación acética que se va a producir en el presente proyecto, esta velocidad es de 0,15 h⁻¹. Se trabajará con un caudal de entrada de $Q_1 = 0,017 \text{ m}^3/\text{h} = 17 \text{ L/h}$.

- Bomba de descarga del fermentador (B_2):
Para descargar el 85% del volumen útil del fermentador, el caudal de salida es de $Q_2=0,015 \text{ m}^3/\text{h}=15 \text{ L/h}$.
- Bomba de descarga del filtro tangencial (B_3):
La cantidad de microorganismos que quedan filtrados se estima que será menor del 1% de la corriente de vinagre de vino. Por lo tanto el caudal de vinagre filtrado se considera que será prácticamente igual que el caudal de entrada.
Esta bomba impulsa un caudal de $Q_3=0,015 \text{ m}^3/\text{h}=15 \text{ L/h}$.
- Bomba de alimentación del evaporador (B_4):
El caudal de entrada del evaporador es de $Q_4=0,045 \text{ m}^3/\text{h}=45 \text{ L/h}$.
- Bomba de descarga del evaporador (B_5):
El caudal de salida del evaporador es de $Q_5=0,016 \text{ m}^3/\text{h}=16 \text{ L/h}$.
- Bomba de alimentación del mezclador 1 (Descarga del depósito de mosto concentrado) (B_6):
Esta bomba impulsa un caudal de $Q_6=0,015 \text{ m}^3/\text{h}=15 \text{ L/h}$.
- Bomba de alimentación del depósito de vinagre balsámico (B_7):
Esta bomba impulsa un caudal de $Q_7=0,025 \text{ m}^3/\text{h}=25 \text{ L/h}$.
- Bomba de descarga del mezclador 1 (Alimentación del mezclador 2) (B_8):
Esta bomba impulsa un caudal de $Q_8=0,0044 \text{ m}^3/\text{h}=4,4 \text{ L/h}$.
- Bomba de alimentación del mezclador 2 (Descarga del depósito de mosto concentrado) (B_9):
Esta bomba impulsa el mismo caudal que el Q_{SM1} , ya que al mezclador, es decir $Q_9=0,0044 \text{ m}^3/\text{h}=4,4 \text{ L/h}$.

- Bomba de alimentación del depósito de crema de vinagre balsámico (B_{10}):
Esta bomba impulsa un caudal de $Q_{10}=0,0088 \text{ m}^3/\text{h}=8,8 \text{ L/h}$.

Debido a que los caudales de trabajo son pequeños, el diámetro de las tuberías será siempre el mismo independientemente de que el caudal sea diferente según la zona de que se trate. Un diámetro demasiado pequeño podría originar problemas de obturación durante el funcionamiento de la planta. Concretamente se usarán tuberías de 8 mm de diámetro interno y 11,1 mm de diámetro externo menos las tuberías del sistema de refrigeración del fermentador cuya elección de diámetro se hace atendiendo a los requerimientos mecánicos y de transmisión de calor de cada caso.

En cuanto al serpentín del fermentador se trata de una tubería de acero inoxidable AISI 316L de diámetro externo 28 mm y espesor 2 mm, como ya se vio en el capítulo 18 'Diseño del sistema de refrigeración del fermentador'.

1.5. Espesor mínimo de pared

El espesor mínimo de las conducciones se calcula con la siguiente expresión:

$$t_m = M \left(\frac{P * D_0}{2 * (S * E + P * Y)} + c \right)$$

Siendo

t_m es el espesor mínimo de la pared de la tubería, incluyendo un 12,5% de tolerancia de fabricación (in).

M es la tolerancia de fabricación. Para aceros inoxidable 1,125.

P es la presión interior de diseño (psi). Se usa la presión de diseño del equipo al que va conectado cada conducción, por lo tanto $3,5 \text{ kg/cm}^2$ (49,78 psi).

D_0 es el diámetro exterior de la tubería (in).

S es la tensión admisible del material. Para el norprene es de 1000 psi y para el acero inoxidable AISI 316L es de 13300 psi.

E es el factor de eficiencia de la soldadura. El valor de este factor viene dado en la norma ANSI B31.3. Para tuberías no soldadas se toma $E=1$.

$S \cdot E$ es el máximo coeficiente de trabajo que el código permite para la tensión circunferencial producido por la presión interna.

Y es un coeficiente que depende del material de la tubería y de la temperatura. El valor de este coeficiente viene dado en la norma ANSI B31.3. Para el norprene vale 0,8 y para el acero inoxidable AISI 316L vale 0,4.

c es la suma de la tolerancia de corrosión en pulgadas y la profundidad del roscado en el caso de tuberías roscadas. Para el norprene vale 1,27 mm y para el acero inoxidable AISI 316L 1,5 mm.

En la siguiente tabla se recogen los datos obtenidos de espesor mínimo para cada tramo de conducción:

TRAMO	MATERIAL	Y	C		D_0		t_m	
			Mm	In	Mm	in	Mm	in
L1-L10	NORPRENO	0,8	1,27	0,050	11,1	0,44	1,451	0,057
L11	ACERO INOXIDABLE AISI 316L	0,4	1,5	0,059	28	1,10	1,750	0,069

TABLA XV.2: Espesor mínimo de las diferentes tuberías proyectadas

1.6. Especificaciones dimensionales de las conducciones

En la siguiente tabla se muestra las diferentes tuberías comerciales que se han seleccionado para cada tramo, cumpliendo así todas las consideraciones que han llevado a cado hasta el momento.

TRAMO	MATERIAL	D _{NOM} (in)	D ₀ (mm)	t (mm)	D (mm)
L1-L0	NORPRENO	5/16"	11,1	1,55	8
L11	ACERO INOXIDABLE AISI 316L	15/16"	28	2	24

TABLA XV.3: Características nominales de las conducciones comerciales

Por lo tanto, las conducciones comerciales que han sido seleccionadas cumplen el requerimiento de espesor mínimo, t_m , anteriormente calculado.

2. Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga dependen de la velocidad del flujo, de la disposición del tubo, su diámetro, la rugosidad de la superficie interior de la tubería y las propiedades del líquido que circula por él.

Las pérdidas de carga pueden ser primarias o secundarias.

- Primarias: Son las originadas por el contacto del fluido con la superficie de la tubería, por el rozamiento entre diferentes capas o partículas de fluido.
- Secundarias: Son las originadas por los accesorios de las tuberías y en zonas donde la sección de tubería no es constante (estrechamiento o expansión de corriente).

2.1. Primarias: Pérdidas de cargas por fricción

Para calcular la pérdida de carga por fricción debida a la tubería se utiliza la expresión de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} (m)$$

Siendo

h_f la pérdida de carga (m).

f el coeficiente de fricción.

L la longitud de la tubería analizada (m).

D el diámetro de la tubería analizada (m).
v la velocidad media del fluido (m/s).
g la aceleración de la gravedad (9,8 m/s²).

El factor f es adimensional y depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería, ε .

$$f = f(Re, \varepsilon/D)$$

Cuando el régimen es laminar, el coeficiente f depende sólo del número de Reynolds, mientras que si es turbulento depende de ε/D .

Para calcular el coeficiente de fricción de todas las tuberías excepto la de los serpentines se usará la siguiente ecuación:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Esta ecuación es la de Poiseville y es válida para tuberías lisas y en flujo laminar ($Re < 2000$). Para las tuberías de los serpentines se va a utilizar la siguiente expresión de Blasius, válida para tuberías lisas y $2000 < Re < 100000$:

$$f = \frac{0,316}{Re^{1/4}}$$

Los resultados obtenidos para el factor de fricción, f, para todas las tuberías se recogen en la siguiente tabla:

TRAMO	D _{int} (mm)	Q (m ³ /h)	v (m/s)	Re	F
L1	8	0,017	0,096	337,71	0,190
L2	8	0,015	0,081	163,32	0,392
L3	8	0,015	0,081	163,32	0,392
L4	8	0,045	0,249	798,23	0,080
L5	8	0,016	0,086	99,72	0,642
L6	8	0,015	0,081	94,38	0,678
L7	8	0,025	0,138	189,47	0,338
L8	8	0,0044	0,025	33,68	1,900
L9	8	0,0044	0,025	28,49	2,246
L10	8	0,0089	0,049	62,41	1,025
L11	28	0,866	0,391	11454,50	0,031

TABLA XVI.1: Factor de fricción para las distintas conducciones proyectadas

Para calcular la pérdida de carga por fricción debida a la tubería utilizando la expresión de Darcy-Weisbach anteriormente mencionada, se necesita saber la longitud de cada tramo de tubería. En la siguiente tabla se recoge el valor exacto de cada tramo y se obtiene la pérdida de carga en la tubería debido a las pérdidas primarias.

TRAMO	L (m)	Dint (m)	v(m/s)	f	h _f (m)
L1	5,3	0,008	0,096	0,190	3,63E-04
L2	3,4	0,008	0,081	0,392	3,46E-04
L3	4,3	0,008	0,081	0,392	4,37E-04
L4	6,4	0,008	0,249	0,080	1,25E-03
L5	5,4	0,008	0,086	0,642	1,01E-03
L6	5,2	0,008	0,081	0,678	9,14E-04
L7	7,6	0,008	0,138	0,338	1,93E-03
L8	4,5	0,008	0,025	1,900	2,03E-04
L9	4,4	0,008	0,025	2,246	2,35E-04
L10	6,4	0,008	0,049	1,025	6,23E-04
L11	30,4	0,028	0,391	0,031	99,265

TABLA XVI.2: Pérdidas primarias en las distintas conducciones

2.2. Secundarias: Pérdidas de cargas por los accesorios

Las pérdidas de carga generadas por los accesorios en las tuberías son pequeñas en comparación con las originadas por el rozamiento con las paredes. Sin embargo estas pérdidas deben ser calculadas por que la suma de todas las pérdidas secundarias pueden llegar a suponer una fracción apreciable de la pérdida de carga total.

La pérdida de carga en cada accesorio se calcula con la siguiente expresión:

$$h_{ACC} = k_{ACC} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde k_{ACC} es el coeficiente de resistencia de cada accesorio. Este valor depende de la geometría del accesorio y de su factor de fricción, f . En la siguiente tabla se recoge los valores de k_{ACC} para cada uno de los accesorios necesarios para las conducciones de este proyecto.

ACCESORIOS	k_{ACC}
Codo de 90°	0,75
Entrada de tubería	0,5
Salida de tubería	1
Válvula de globo o asiento	6
Curvatura del serpentín	*

TABLA XVI.3: Constante k_{ACC} de los diferentes accesorios para el cálculo de las pérdidas secundarias debidas a éstos (E. Costa Novella, Vol 3)

En las siguientes tablas se recogen todos los accesorios necesarios en cada tramo de conducciones de la planta con sus respectivos coeficientes de resistencia y las pérdidas secundarias que ellos conllevan.

- Conducción de alimentación del fermentador, L₁
(v₁ = 0,096 m/s):

Accesorio	k_{acc}	cantidad	h_{acc} (m)
codo 90°	0,75	4	0,0014
entrada tubería	0,5	1	0,0002
salida tubería	1	1	0,0005
válvula de globo	6	1	0,0028
Total			0,0049

TABLA XVI.4: Pérdidas secundarias en la conducción L₁

- Conducción de descarga del fermentador = Conducción de alimentación del filtro tangencial, L₂ (v₂=0,081 m/s)

Accesorio	k_{acc}	cantidad	h_{acc} (m)
codo 90°	0,75	4	0,0010
entrada tubería	0,5	1	0,0002
salida tubería	1	1	0,0003
válvula electrónica	6	1	0,0020
Total			0,0035

TABLA XVI.5: Pérdidas secundarias en la conducción L₂

- Conducción de descarga del filtro tangencial = Conducción de alimentación del mezclador 1, L₃
(v₃ = 0,081 m/s):

Accesorio	k_{acc}	cantidad	h_{acc} (m)
codo 90°	0,75	2	0,0005
entrada tubería	0,5	1	0,0002
salida tubería	1	1	0,0003
válvula de globo	6	1	0,0020
Total			0,0030

TABLA XVI.6: Pérdidas secundarias en la conducción L_3

- Conducción de alimentación del evaporador, L_4
($v_4 = 0,249$ m/s):

Accesorio	k_{acc}	cantidad	h_{acc} (m)
codo 90°	0,75	4	0,0095
entrada tubería	0,5	1	0,0016
salida tubería	1	1	0,0032
válvula de globo	6	1	0,0190
Total			0,0333

TABLA XVI.7: Pérdidas secundarias en la conducción L_4

- Conducción de descarga del evaporador = Conducción de alimentación del depósito de mosto concentrado, L_5
($v_5 = 0,086$ m/s):

Accesorio	k_{acc}	cantidad	H_{acc} (m)
codo 90°	0,75	4	0,0011
entrada tubería	0,5	1	0,0002
salida tubería	1	1	0,0004
válvula de gobo	6	1	0,0023
Total			0,0040

TABLA XVI.8: Pérdidas secundarias en la conducción L_5

- Conducción de descarga del depósito de mosto concentrado = Conducción de alimentación del mezclador1, L_6 ($v_6 = 0,081$ m/s):

Accesorio	k_{acc}	cantidad	h_{acc} (m)
codo 90°	0,75	4	0,0010
entrada tubería	0,5	1	0,0002
salida tubería	1	1	0,0003
válvula de globo	6	1	0,0020
Total			0,0035

TABLA XVI.9: Pérdidas secundarias en la conducción L_6

- Conducción de descarga del mezclador 1 = Conducción de alimentación del depósito de vinagre balsámico, L_7 ($v_7 = 0,138$ m/s):

Accesorio	k_{acc}	cantidad	h_{acc} (m)
codo 90°	0,75	4	0,0029
entrada tubería	0,5	1	0,0005
salida tubería	1	1	0,0010
válvula de globo	6	1	0,0058
Total			0,0102

TABLA XVI.10: Pérdidas secundarias en la conducción L_7

- Conducción de descarga del mezclador 1 = Conducción de alimentación del mezclador 2, L_8 ($v_8 = 0,025$ m/s):

Accesorio	k_{acc}	cantidad	h_{acc} (m)
codo 90°	0,75	4	9,22E-05
entrada tubería	0,5	1	1,54E-05
salida tubería	1	1	3,07E-05
válvula de globo	6	1	0,0002
Total			0,0003

TABLA XVI.11: Pérdidas secundarias en la conducción L_8

- Conducción de descarga del depósito de mosto concentrado = Conducción de alimentación del mezclador 2, L_9 ($v_9 = 0,025$ m/s):

Accesorio	k_{acc}	cantidad	h_{acc} (m)
codo 90°	0,75	4	9,22E-05
entrada tubería	0,5	1	1,54E-05
salida tubería	1	1	3,07E-05
válvula de globo	6	1	0,0002
Total			0,0003

TABLA XVI.12: Pérdidas secundarias en la conducción L_9

- Conducción de descarga del mezclador 2 = Conducción de alimentación del depósito de crema de vinagre balsámico, L_{10} ($v_{10} = 0,049$ m/s):

Accesorio	k_{acc}	cantidad	h_{acc} (m)
codo 90°	0,75	4	0,0004
entrada tubería	0,5	1	0,0001
salida tubería	1	1	0,0001

válvula de globo	6	1	0,0007
Total			0,0013

TABLA XVI.13: Pérdidas secundarias en la conducción L_{10}

- Conducción del serpentín del fermentador, L_{11}
($v_{11} = 0,391$ m/s)

Para calcular la pérdida de carga que se produce en la conducción del serpentín, es necesario conocer la pérdida de carga que origina la curvatura de dicho serpentín. Para ello se considera éste como un sumatorio de curvas de 90° .

La pérdida de carga que se produce en la curvatura es mayor de la que se produciría en un tramo recto de longitud similar porque el flujo de fluidos se ve afectado en dicha curvatura.

Las partículas de fluido que circula por la parte externa, al llegar a la curvatura encuentran una presión mayor, por lo que su velocidad disminuye, ocurriendo lo contrario en las partículas de fluido que llegan a la curvatura por la parte interna, las cuales encuentran una presión menor, por lo que su velocidad tiende a aumentar. A esto se le llama gradiente radial de presión, provocado por la fuerza centrífuga.

Al existir una mayor presión en la parte externa que en la interna, el fluido que avanza lentamente por la parte externa se desplaza hasta la interna periféricamente. Esta circulación periférica se ve completada por otra que circula desde la parte interna hacia la parte externa. A esto se le llama circulación secundaria y persiste en el fluido después de pasar la curvatura, disipándose gradualmente en el tramo recto de la conducción.

El gradiente radial de presión y la circulación secundaria son las causas de que el fluido aumente su turbulencia y haya una mayor pérdida de energía útil.

La pérdida de energía que se produce en la curvatura puede dividirse en tres: la que se produce a la entrada de la curvatura, la que se produce en la misma y la que se produce a la salida. La primera y la tercera dependen de la agudeza de la curvatura, R/D . La segunda varía directamente con la longitud de la curvatura, que a su vez para un ángulo dado, es proporcional al radio R .

Por lo tanto, para radios pequeños, como es el caso del presente proyecto, las pérdidas a la entrada y a la salida de la curvatura serán grandes mientras que las pérdidas en la misma curvatura serán pequeñas, ocurriendo lo contrario al tratarse con radios grandes. Existe una cierta relación R/D para la cual las pérdidas totales son mínimas. Esta pérdida de energía normalmente se evalúa en función de la longitud equivalente de tramo recto de tubería de igual diámetro que produciría una pérdida análoga, L_e .

El serpentín del presente proyecto tiene un radio de curvatura de 440 mm y un diámetro interno de 24 mm, por lo que se obtiene una agudeza de $R/D=18,3$.

$$\frac{L_e}{D} = 14,5 \quad L_e = 348 \text{ mm}$$

$$h_f = 4f * \frac{L_e}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$K = 4f * \frac{L_e}{D} = 4 * 0,031 * 14,5 = 1,77$$

El serpentín tiene once vueltas y cada vuelta tiene 4 curvaturas de 90° . Por lo tanto el coeficiente k_{acc} para el serpentín es:

$$k_{acc} = 1,77 * 11 * 4 = 77,95$$

Accesorio	K_{acc}	cantidad	$h_{acc} \text{ (m)}$
entrada tubería	0,5	1	0,0039
salida tubería	1	1	0,0078
curvatura serpentín	77,95	1	0,6061

válvula globo ELEC	6	1	0,0467
Total			0,6644

TABLA XVI.14: Pérdidas secundarias en la conducción L₁₁

- Resumen de las pérdidas de carga

TRAMO	h_{primarias} (m)	h_{secundarias} (m)	h_{totales} (m)
L1	3,63E-04	0,0049	0,0053
L2	3,46E-04	0,0035	0,0039
L3	4,37E-04	0,0030	0,0035
L4	1,25E-03	0,0333	0,0346
L5	1,01E-03	0,0040	0,0050
L6	9,14E-04	0,0035	0,0045
L7	1,93E-03	0,0102	0,0121
L8	2,03E-04	0,0003	0,0005
L9	2,35E-04	0,0003	0,0006
L10	6,23E-04	0,0013	0,0019
L11	99,26	0,6644	99,93

TABLA XVI.15: Pérdidas de carga totales en las distintas conducciones

CAPÍTULO 19. EQUIPOS PARA LA IMPULSIÓN DE FLUIDOS

1. Altura útil

Para seleccionar las bombas utilizadas en el presente proyecto es necesario calcular la altura útil de ellas. La altura útil, H , es la energía neta que la bomba debe transmitir al fluido. Se calcula aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos de aspiración y descarga de cada bomba.

La ecuación de Bernoulli es la siguiente:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + H = \frac{P_2}{\rho * g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{f1-2}$$

Siendo

P_1 la presión en el punto de aspiración.

z_1 la cota del punto de aspiración.

v_1 la velocidad lineal en el punto de aspiración.

P_2 la presión en el punto de descarga.

z_2 la cota del punto de descarga.

v_2 la velocidad lineal en el punto de descarga.

h_{f1-2} las pérdidas de cargas totales entre los puntos considerados.

ρ es la densidad del fluido que impulsa la bomba.

g es la aceleración de la gravedad, $9,81 \text{ m/s}^2$.

Despejando la altura útil, H :

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho * g} + (z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_{f1-2}$$

A continuación se calcula la altura útil de cada bomba utilizada en el presente proyecto:

- Bomba de alimentación del fermentador (B_1).

Para esta bomba los valores de los términos de la ecuación son los siguientes:

P_1 : El punto de aspiración está en la parte inferior del tanque de almacenamiento de vino. En este punto la presión

será la suma de la presión atmosférica y la presión debida a la columna del líquido. Considerando la situación más desfavorable posible que sería cuando el depósito estuviera vacío, la presión en este punto sería la atmosférica.

($P_1 = 101325 \text{ Pa}$)

P_2 : El punto de descarga está en la superficie del líquido en el fermentador, por lo tanto la presión en este punto será la atmosférica.

($P_2 = 101325 \text{ Pa}$)

z_1 : Considerando la situación más desfavorable posible, que sería cuando el depósito de vino estuviera vacío, la cota de la zona de aspiración sería 0 metros.

($z_1 = 0 \text{ m}$)

z_2 : La cota del punto más elevado de la línea de impulsión es 2 metros.

($z_2 = 2 \text{ m}$)

v_1 : La velocidad lineal en el punto de aspiración puede considerarse nula ya que el volumen de almacenamiento de vino se descargará lentamente.

($v_1 = 0 \text{ m/s}$)

v_2 : La velocidad lineal en el punto de descarga es 0,096m/s.

($v_2 = 0,096 \text{ m/s}$)

$h_{f1-2} = 0,0053 \text{ m}$. (Ver tabla XVI.15)

Sustituyendo estos valores en la ecuación, se obtiene la altura útil de la bomba 1.

$$H(B_1) = 2 + \frac{0,096^2}{2 * 9,81} + 0,0053 = 2,0058 \text{ m}$$

- Bomba de descarga del fermentador (B_2).

Para esta bomba los valores de los términos de la ecuación son los siguientes:

P_1 : El punto de aspiración está en la parte inferior del tanque de almacenamiento de vino. En este punto la presión será la suma de la presión atmosférica y la presión debida a la columna del líquido. Considerando la situación más

desfavorable posible que sería cuando el depósito estuviera vacío, la presión en este punto sería la atmosférica.

$$(P_1 = 101325 \text{ Pa})$$

P₂: El punto de descarga está en la superficie del líquido en el fermentador, por lo tanto la presión en este punto será la atmosférica.

$$(P_2 = 101325 \text{ Pa})$$

z₁: Considerando la situación más desfavorable posible, que sería cuando el depósito de vino estuviera vacío, la cota de la zona de aspiración sería 0 metros.

$$(z_1 = 0 \text{ m})$$

z₂: La cota del punto más elevado de la línea de impulsión es 1 metros.

$$(z_2 = 1 \text{ m})$$

v₁: La velocidad lineal en el punto de aspiración puede considerarse nula ya que el volumen de almacenamiento de vino se descargará lentamente.

$$(v_1 = 0 \text{ m/s})$$

v₂: La velocidad lineal en el punto de descarga es 0,096m/s.

$$(v_2 = 0,081 \text{ m/s})$$

$$h_{f1-2} = 0,0039 \text{ m (Ver tabla XVII.15).}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación, se obtiene la altura útil de la bomba 2.

$$H(B_2) = 1 + \frac{0,081^2}{2 * 9,81} + 0,0039 = 1,0042 \text{ m}$$

- Bomba descarga del filtro tangencial (B₃).

Para esta bomba los valores de los términos de la ecuación son los siguientes:

P₁: El punto de aspiración está en la parte inferior del fermentador. En este punto la presión será la suma de la presión atmosférica y la presión debida a la columna del líquido. Considerando la situación más desfavorable posible para la bomba, sería cuando el depósito estuviera vacío, entonces la presión en este punto sería la atmosférica.

$$(P_1 = 101325 \text{ Pa})$$

P_2 : El punto de descarga está en la superficie del líquido en el mezclador 1, por lo tanto la presión en este punto será la atmosférica.

$$(P_2 = 101325 \text{ Pa})$$

z_1 : Considerando la situación más desfavorable posible, que sería cuando el fermentador estuviera vacío (último ciclo antes de los periodos de mantenimiento), la cota de la zona de aspiración sería 0 metros.

$$(z_1 = 0 \text{ m})$$

z_2 : La cota del punto más elevado de la línea de impulsión es 2 metros.

$$(z_2 = 2 \text{ m})$$

v_1 : La velocidad lineal en el punto de aspiración puede considerarse nula ya que el volumen del fermentador se descargará lentamente.

$$(v_1 = 0 \text{ m/s})$$

v_2 : La velocidad lineal en el punto de descarga es 0,096m/s.

$$(v_2 = 0,081 \text{ m/s})$$

$$h_{f1-2} = 0,0035 \text{ (Ver tabla XVI.15).}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación, se obtiene la altura útil de la bomba 3.

$$H(B_3) = 2 + \frac{0,081^2}{2 * 9,81} + 0,0035 = 2,0038 \text{ m}$$

- Bomba de alimentación del evaporador (B_4).

Para esta bomba los valores de los términos de la ecuación son los siguientes:

P_1 : El punto de aspiración está en la parte inferior del tanque de almacenamiento de mosto. En este punto la presión será la suma de la presión atmosférica y la presión debida al volumen de mosto. Considerando la situación más desfavorable posible que sería cuando el depósito estuviera vacío, la presión en este punto sería la atmosférica.

$$(P_1 = 101325 \text{ Pa})$$

P_2 : El punto de descarga está en la superficie del líquido en el evaporador, por lo tanto la presión en este punto será la atmosférica.

($P_2 = 101325 \text{ Pa}$)

z_1 : Considerando la situación más desfavorable posible, que sería cuando el depósito de mosto estuviera vacío, la cota de la zona de aspiración sería 0 metros.

($z_1 = 0 \text{ m}$)

z_2 : La cota del punto más elevado de la línea de impulsión es 2,8 metros.

($z_2 = 2,8 \text{ m}$)

v_1 : La velocidad lineal en el punto de aspiración puede considerarse nula ya que el volumen de almacenamiento de mosto se descargará lentamente.

($v_1 = 0 \text{ m/s}$)

v_2 : La velocidad lineal en el punto de descarga es 0,096m/s.

($v_2 = 0,249 \text{ m/s}$)

$h_{f1-2} = 0,0346 \text{ m}$ (Ver tabla XVI.15).

Sustituyendo estos valores en la ecuación, se obtiene la altura útil de la bomba 4.

$$H(B_4) = 2,8 + \frac{0,249^2}{2 * 9,81} + 0,0346 = 2,8378 \text{ m}$$

- Bomba de descarga del evaporador (B_5).

Para esta bomba los valores de los términos de la ecuación son los siguientes:

P_1 : El punto de aspiración está en la parte inferior del evaporador. En este punto la presión será la suma de la presión atmosférica y la presión debida a la columna del líquido. Considerando la situación más desfavorable posible que sería cuando el depósito estuviera vacío, la presión en este punto sería la atmosférica.

($P_1 = 101325 \text{ Pa}$)

P_2 : El punto de descarga está en la superficie del líquido en el depósito de mosto concentrado, por lo tanto la presión en este punto será la atmosférica.

$$(P_2 = 101325 \text{ Pa})$$

z_1 : Considerando la situación más desfavorable posible, que sería cuando el evaporador estuviera vacío, la cota de la zona de aspiración sería 0 metros.

$$(z_1 = 0 \text{ m})$$

z_2 : La cota del punto más elevado de la línea de impulsión es 2,5 metros.

$$(z_2 = 2,5 \text{ m})$$

v_1 : La velocidad lineal en el punto de aspiración puede considerarse nula ya que el volumen del evaporador se descargará lentamente.

$$(v_1 = 0 \text{ m/s})$$

v_2 : La velocidad lineal en el punto de descarga es 0,096m/s.

$$(v_2 = 0,086 \text{ m/s})$$

$$h_{f1-2} = 0,0098 \text{ m (Ver tabla XVI.15).}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación, se obtiene la altura útil de la bomba 5.

$$H(B_3) = 2,5 + \frac{0,086^2}{2 * 9,81} + 0,0098 = 2,5102 \text{ m}$$

- Bomba de alimentación del mezclador 1 de mosto concentrado (B_6).

Para esta bomba los valores de los términos de la ecuación son los siguientes:

P_1 : El punto de aspiración está en la parte inferior del tanque de almacenamiento de mosto concentrado. En este punto la presión será la suma de la presión atmosférica y la presión debida a la columna del líquido. Considerando la situación más desfavorable posible para la bomba, que sería cuando el depósito estuviera vacío, la presión en este punto sería entonces la atmosférica.

$$(P_1 = 101325 \text{ Pa})$$

P_2 : El punto de descarga está en la superficie del líquido en el mezclador 1, por lo tanto la presión en este punto será la atmosférica.

$$(P_2 = 101325 \text{ Pa})$$

z_1 : Considerando la situación más desfavorable posible, que sería cuando el depósito de vino estuviera vacío, la cota de la zona de aspiración sería 0 metros.

($z_1 = 0 \text{ m}$)

z_2 : La cota del punto más elevado de la línea de impulsión es 2 metros.

($z_2 = 2 \text{ m}$)

v_1 : La velocidad lineal en el punto de aspiración puede considerarse nula ya que el volumen de almacenamiento de mosto concentrado se descargará lentamente.

($v_1 = 0 \text{ m/s}$)

v_2 : La velocidad lineal en el punto de descarga es 0,096m/s.

($v_2 = 0,081 \text{ m/s}$)

$h_{f1-2} = 0,0045 \text{ m}$ (Ver tabla XVI.15).

Sustituyendo estos valores en la ecuación, se obtiene la altura útil de la bomba 6.

$$H(B_6) = 2 + \frac{0,081^2}{2 * 9,81} + 0,0045 = 2,0048 \text{ m}$$

- Bomba de alimentación del depósito de vinagre balsámico (B_7).
Para esta bomba los valores de los términos de la ecuación son los siguientes:

P_1 : El punto de aspiración está en la parte inferior del mezclador. En este punto la presión será la suma de la presión atmosférica y la presión debida a la columna del líquido. Considerando la situación más desfavorable posible que sería cuando el depósito estuviera vacío, la presión en este punto sería la atmosférica.

($P_1 = 101325 \text{ Pa}$)

P_2 : El punto de descarga está en la superficie del líquido en el depósito de vinagre balsámico, por lo tanto la presión en este punto será la atmosférica.

($P_2 = 101325 \text{ Pa}$)

z_1 : Considerando la situación más desfavorable posible, que sería cuando el mezclador estuviera vacío, la cota de la zona de aspiración sería 0 metros.

($z_1 = 0 \text{ m}$)

z_2 : La cota del punto más elevado de la línea de impulsión es 4 metros.

$$(z_2 = 4 \text{ m})$$

v_1 : La velocidad lineal en el punto de aspiración puede considerarse nula ya que el volumen del mezclador1 se descargará lentamente.

$$(v_1 = 0 \text{ m/s})$$

v_2 : La velocidad lineal en el punto de descarga es 0,096m/s.

$$(v_2 = 0,138 \text{ m/s})$$

$$h_{f1-2} = 0,0121 \text{ m (Ver tabla XVI.15).}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación, se obtiene la altura útil de la bomba 7.

$$H(B_7) = 4 + \frac{0,138^2}{2 * 9,81} + 0,0121 = 4,0131 \text{ m}$$

- Bomba de descarga del mezclador1 (Alimentación del mezclador 2) (B_8).

Para esta bomba los valores de los términos de la ecuación son los siguientes:

P_1 : El punto de aspiración está en la parte inferior del mezclador1. En este punto la presión será la suma de la presión atmosférica y la presión debida a la columna del líquido. Considerando la situación más desfavorable posible que sería cuando el mezclador estuviera vacío, la presión en este punto sería la atmosférica.

$$(P_1 = 101325 \text{ Pa})$$

P_2 : El punto de descarga está en la superficie del líquido en el mezclador, por lo tanto la presión en este punto será la atmosférica.

$$(P_2 = 101325 \text{ Pa})$$

z_1 : Considerando la situación más desfavorable posible que sería cuando el mezclador 1 estuviera vacío, la cota de la zona de aspiración sería 0 metros.

$$(z_1 = 0 \text{ m})$$

z_2 : La cota del punto más elevado de la línea de impulsión es 1,4 metros.

$$(z_2 = 1,4 \text{ m})$$

v_1 : La velocidad lineal en el punto de aspiración puede considerarse nula ya que el volumen del mezclador 1 se descargará lentamente.

$$(v_1 = 0 \text{ m/s})$$

v_2 : La velocidad lineal en el punto de descarga es 0,096m/s.

$$(v_2 = 0,025 \text{ m/s})$$

$$h_{f1-2} = 0,0005 \text{ m (Ver tabla XVI.15).}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación, se obtiene la altura útil de la bomba 8.

$$H(B_8) = 1,4 + \frac{0,025^2}{2 * 9,81} + 0,0005 = 1,4005 \text{ m}$$

- Bomba de alimentación del mezclador 2 de mosto concentrado (B_9).

Para esta bomba los valores de los términos de la ecuación son los siguientes:

P_1 : El punto de aspiración está en la parte inferior del tanque de almacenamiento de mosto concentrado. En este punto la presión será la suma de la presión atmosférica y la presión debida a la columna del líquido. Considerando la situación más desfavorable posible que sería cuando el depósito estuviera vacío, la presión en este punto sería la atmosférica.

$$(P_1 = 101325 \text{ Pa})$$

P_2 : El punto de descarga está en la superficie del líquido en el mezclador, por lo tanto la presión en este punto será la atmosférica.

$$(P_2 = 101325 \text{ Pa})$$

z_1 : Considerando la situación más desfavorable posible que sería cuando el depósito de mosto concentrado estuviera vacío, la cota de la zona de aspiración sería 0 metros.

$$(z_1 = 0 \text{ m})$$

z_2 : La cota del punto más elevado de la línea de impulsión es 1,4 metros.

$$(z_2 = 1,4 \text{ m})$$

v_1 : La velocidad lineal en el punto de aspiración puede considerarse nula ya que el volumen de almacenamiento de mosto concentrado se descargará lentamente.

$$(v_1 = 0 \text{ m/s})$$

v_2 : La velocidad lineal en el punto de descarga es 0,096m/s.

$$(v_2 = 0,025 \text{ m/s})$$

$$h_{f1-2} = 0,0006 \text{ m (Ver tabla XVI.15).}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación, se obtiene la altura útil de la bomba 9.

$$H(B_9) = 1,4 + \frac{0,025^2}{2 * 9,81} + 0,0006 = 1,4006 \text{ m}$$

- Bomba de alimentación del depósito de crema balsámico (B_{10}).
Para esta bomba los valores de los términos de la ecuación son los siguientes:

P_1 : El punto de aspiración está en la parte inferior del mezclador 2. En este punto la presión será la suma de la presión atmosférica y la presión debida a la columna del líquido. Considerando la situación más desfavorable posible que sería cuando el depósito estuviera vacío, la presión en este punto sería la atmosférica.

$$(P_1 = 101325 \text{ Pa})$$

P_2 : El punto de descarga está en la superficie del líquido en el fermentador, por lo tanto la presión en este punto será la atmosférica.

$$(P_2 = 101325 \text{ Pa})$$

z_1 : Considerando la situación más desfavorable posible que sería cuando el mezclador 2 estuviera vacío, la cota de la zona de aspiración sería 0 metros.

$$(z_1 = 0 \text{ m})$$

z_2 : La cota del punto más elevado de la línea de impulsión es 3,2 metros.

$$(z_2 = 3,2 \text{ m})$$

v_1 : La velocidad lineal en el punto de aspiración puede considerarse nula ya que el volumen del mezclador 2 se descargará lentamente.

$$(v_1 = 0 \text{ m/s})$$

v_2 : La velocidad lineal en el punto de descarga es 0,096m/s.

$$(v_2 = 0,049 \text{ m/s})$$

$$h_{f1-2} = 0,0019 \text{ m (Ver tabla XVI.15).}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación, se obtiene la altura útil de la bomba 10.

$$H(B_{10}) = 3,2 + \frac{0,049^2}{2 * 9,81} + 0,0019 = 3,2020 \text{ m}$$

La siguiente tabla recoge a modo de resumen todos los datos obtenidos de altura útil para las bombas utilizadas en el presente proyecto:

BOMBA	ALTURA ÚTIL (m)
B ₁	2,0058
B ₂	1,0042
B ₃	2,0038
B ₄	2,8378
B ₅	2,5102
B ₆	2,0048
B ₇	4,0131
B ₈	1,4005
B ₉	1,4006
B ₁₀	3,2020

TABLA XVII.1: Altura útil de las distintas bombas del proyecto

2. Potencia

La potencia útil de la bomba es la potencia necesaria para impulsar el caudal Q a la altura útil H. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$W = Q * \rho * g * H$$

Siendo

W la potencia útil de la bomba (W)

Q es el caudal que impulsa la bomba (m³/s)

ρ es la densidad del fluido impulsado.

G es la aceleración de la gravedad, 9,81 m²/s.

H es la altura útil (m)

En la siguiente tabla se recoge todos los valores obtenidos para cada una de las bombas utilizadas en este proyecto:

BOMBAS	Q (m ³ /h)	ρ (kg/m ³)	g (m ² /s)	H (m)	W (W)
B ₁	0,017	1100	9,81	2,0058	375,77
B ₂	0,015	1003,7		1,0042	145,57
B ₃	0,015	1003,7		2,0038	290,47
B ₄	0,045	1000		2,8378	1256,61
B ₅	0,016	1450		2,5102	555,43
B ₆	0,015	1450		2,0048	420,05
B ₇	0,025	1200		4,0131	1181,06
B ₈	0,004	1200		1,4005	73,27
B ₉	0,004	1450		1,4006	88,55
B ₁₀	0,009	1350		3,2020	376,94

TABLA XVII.2: Potencia útil de las distintas bombas del proyecto

La potencia de accionamiento es la energía mecánica que la bomba absorbe y se evalúa según el rendimiento total de la bomba y el valor de potencia útil calculado anteriormente mediante la siguiente expresión:

$$W_a = \frac{W}{\eta_{TOTAL}}$$

El rendimiento total de la bomba tiene en cuenta el rendimiento hidráulico, el rendimiento volumétrico y el rendimiento mecánico de la bomba. Se supondrá un rendimiento total de la bomba del 50%. Por lo tanto, la potencia de accionamiento obtenida para cada bomba será:

BOMBAS	W _a (W)
B ₁	751,55
B ₂	291,14
B ₃	580,94
B ₄	2513,23
B ₅	1110,86
B ₆	840,09
B ₇	2362,11
B ₈	146,55
B ₉	177,09
B ₁₀	753,88

TABLA XVII.3: Potencia de accionamiento de las distintas bombas del proyecto

Se recomienda que las bombas comerciales que se vayan a seleccionar tengan una potencia de accionamiento superior a la calculada en un 20-25%.

A modo de resumen, se recoge en la siguiente tabla los datos que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar las bombas comerciales para el presente proyecto, que como ya se mencionó anteriormente serán bombas peristálticas. Para la columna de la potencia de accionamiento se ha considerado una potencia un 25% a la potencia de accionamiento calculada anteriormente.

BOMBAS	FLUIDO A IMPULSAR	CAUDAL (L/h)	ALTURA ÚTIL (m)	POTENCIA DE ACCIONAMIENTO
B₁	Vino (12,5% v/v)	17	2,0058	>939,44
B₂	Vinagre de vino (12,3% v/v)	15	1,0042	>363,92
B₃	Vinagre de vino (12,3% v/v)	15	2,0038	>726,17
B₄	Mosto (14ºBé)	45	2,8378	>3141,53
B₅	Mosto concentrado (28ºBé)	16	2,5102	>1388,58
B₆	Mosto concentrado (28ºBé)	15	2,0058	>1050,12
B₇	Vinagre balsámico (6º acidez)	25	4,0131	>2952,64
B₈	Vinagre balsámico (6º acidez)	4,4	1,4005	>183,19
B₉	Mosto concentrado (28ºBé)	4,4	1,4005	>221,36
B₁₀	Crema de vinagre balsámico (3º acidez)	8,8	3,202	>942,35

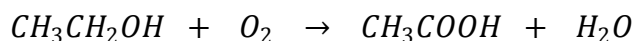
TABLA XVII.3: Características de las bombas a utilizar.

CAPÍTULO 20. SISTEMA DE AIREACIÓN Y APOORTE DE OXÍGENO

1. Consumo de oxígeno

Para calcular el consumo de oxígeno que se produce durante la fermentación acética, es necesario saber los moles de etanol que se consumen para producir ácido acético.

Dada la estequiometría de la reacción, se tiene que los moles de O_2 que se consuman serán los mismos que los moles de etanol que reaccionen para dar ácido acético.



Hay que diferenciar entre el primer ciclo cuando se arranca el sistema y los ciclos fermentativos posteriores. Esto se debe a que en el primer ciclo todos los moles de etanol se transformarán en moles de ácido acético pero en los ciclos fermentativos posteriores el volumen será menor.

1.1. Primer ciclo fermentativo.

Como se vio en el apartado 1 del capítulo 16 'Cálculos generales' de esta memoria, se tienen 1,22 moles de etanol por cada litro de vino, que reaccionarán por estequiometría con 1,22 moles de oxígeno. El volumen útil de vino era $1,25 \text{ m}^3$. Por lo tanto, para un volumen 1250 litros de vino, reaccionarán 2775 moles de oxígeno. Esto sucederá cada vez que se arranque el sistema, dos veces al año.

Para saber el volumen correspondiente a estos moles de oxígeno, se supone éste como gas ideal, pudiendo utilizar la siguiente expresión.

$$PV = nRT$$

Donde

P es la presión de entrada al fermentador (1 atm).

V es el volumen de oxígeno (L).

n es el número de moles de oxígeno.

R es la constante de gases ideales ($0,082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$).
T es la temperatura del sistema (K).

$$V = \frac{2775 \text{ moles} * 0,082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * \text{K}} * 304 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 69175,2 \text{ L oxígeno}$$

El primer ciclo fermentativo cada vez que se arranque el sistema tarda 4 días, por lo tanto se puede calcular el aporte de oxígeno necesario por hora;

$$\frac{69175,2 \text{ L}}{4 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 720,6 \text{ L/h}$$

Sabiendo que el aire contiene un 21% de oxígeno, se tiene que el volumen de aire debe ser de 3431,3 L/h.

1.2. Ciclos fermentativos posteriores.

Una vez finalizado el primer ciclo fermentativo, se desaloja el 85% del volumen útil del fermentador, es decir 1062,5 litros. Este volumen será sustituido por vino. Por lo tanto, en un volumen de 1062,5 litros de vino, reaccionarán 2358,75 moles de etanol con 2358,75 moles de oxígeno.

Usando la misma expresión que en el apartado anterior, se obtiene que estos moles de oxígeno corresponden con un volumen de 58798,92 L de oxígeno.

En este caso, los ciclos fermentativos duran 3 días. El aporte de oxígeno necesario por hora será de 816,65 L.

Sabiendo que el aire contiene un 21% de oxígeno, se tiene que el volumen de aire debe ser de 3888,8 L/h.

2. **Sistema de aporte de oxígeno**

El sistema de aireación debe aportar un caudal suficiente para alcanzar el máximo necesario, que para este proyecto es de 3888,8 L/h ($3,9 \text{ m}^3/\text{h}$).

Si se fabricara un tanque de almacenamiento de O₂ líquido, se dependería de los suministradores de oxígeno industrial. Para evitarlo, se adquiere una soplante existente en el mercado que sea apropiado a nuestras necesidades.

3. Parámetros de aireación

La aireación que se introduce en un fermentador se expresa en volumen de aire por volumen útil por minuto (vvm). Para alcanzar un grado adecuado de homogeneización y agitación del reactor, la aireación necesaria deberá estar comprendida entre 0,1 y 0,4 vvm.

El caudal de aire necesario puede calcularse con la siguiente expresión:

$$vvm = \frac{Q_{aire}}{V_{util}} \rightarrow Q_{aire} = vvm * V_{util}$$

Para un volumen útil de 1,25 m³ y para un valor mínimo de 0,1 vvm, el caudal de aire necesario será:

$$Q_{aire} = 0,1 * 1,25 = 0,125 \text{ m}^3/\text{min} = 7500 \text{ L/h} = 125 \text{ L/min}$$

Para un valor máximo de 0,4 vvm, el caudal de aire necesario será:

$$Q_{aire} = 0,4 * 1,25 = 30.000 \text{ L/h} = 500 \text{ L/min}$$

DOCUMENTO N° 2:

PLANOS

DOCUMENTO N°2: PLANOS

PLANO N° 1: Representación en planta

PLANO N° 2: Diagrama de flujo de la instalación

PLANOS N° 3: Diagramas de control

- PLANO N° 3.A: Diagrama de control del fermentador acético
- PLANO N° 3.B: Diagrama del mezclador 1

PLANOS N°4: Fermentador acético

- PLANO N° 4.A: Exterior del fermentador acético
- PLANO N° 4.B: Interior del fermentador acético
- PLANO N° 4.C: Detalles del serpentín del fermentador acético

PLANO N° 5: Depósito de almacenamiento de vino Pedro Ximénez

PLANO N° 6: Depósito de almacenamiento de mosto

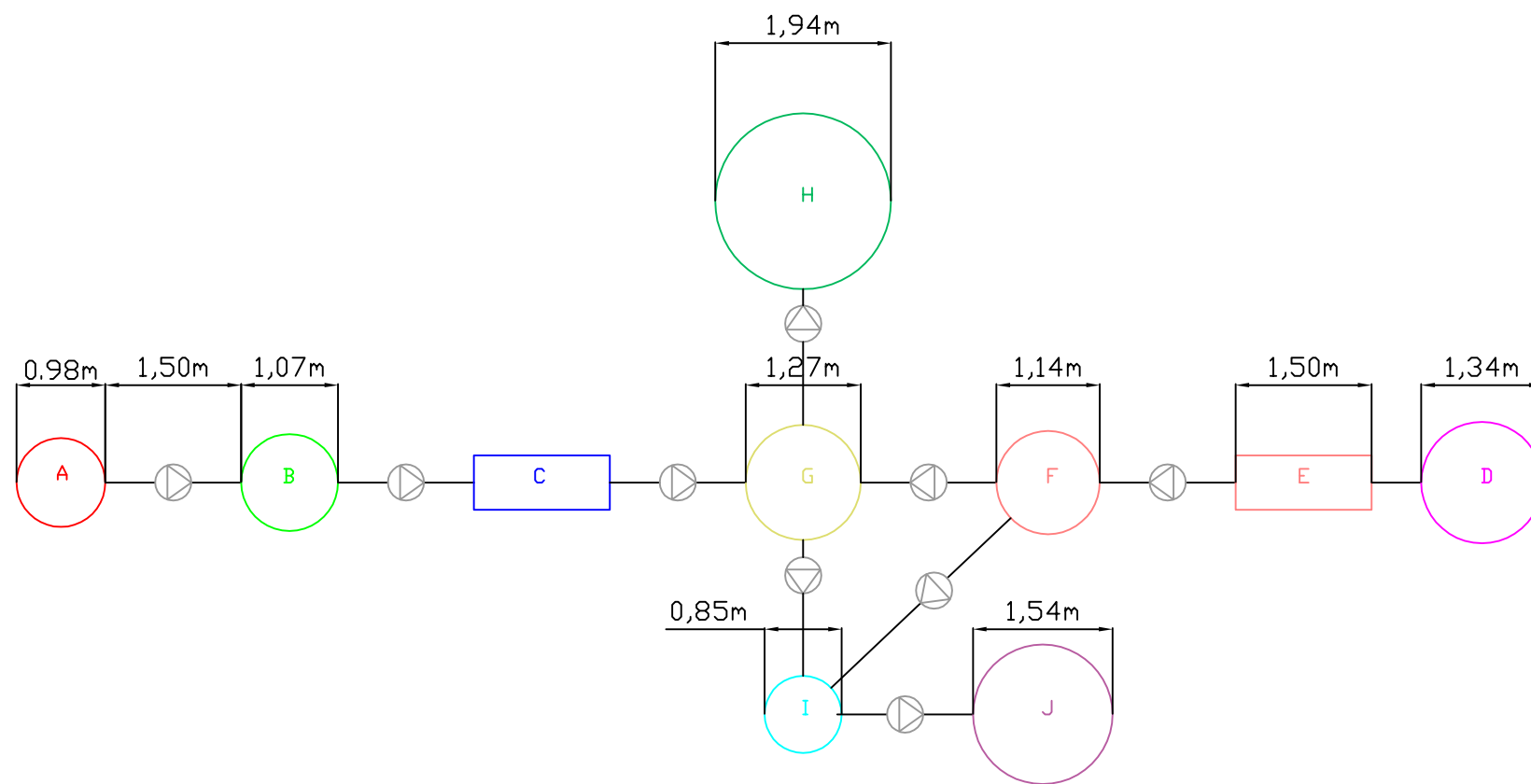
PLANO N° 7: Depósito de almacenamiento de mosto concentrado

PLANO N° 8: Mezclador 1

PLANO N° 9: Depósito de almacenamiento de vinagre balsámico

PLANO N° 10: Mezclador 2

PLANO N° 11: Depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico



LEYENDA



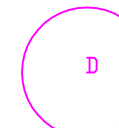
Depósito de
almacenamiento
de vino



Fermentador
acético



Filtro
tangencial



Depósito de
almacenamiento
de mosto



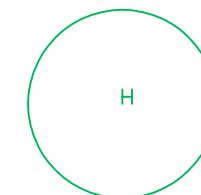
Evaporador



Depósito de
almacenamiento
de mosto
concentrado



Mezclador 1



Depósito de
almacenamiento
vinagre
balsámico



Mezclador 2



Depósito de
almacenamiento de
crema del vinagre
balsámico



Bombas



PROYECTO: Diseño de una línea de producción
de vinagres balsámicos de Pedro
Ximenez y derivados

REF 001

ESCALA S/E

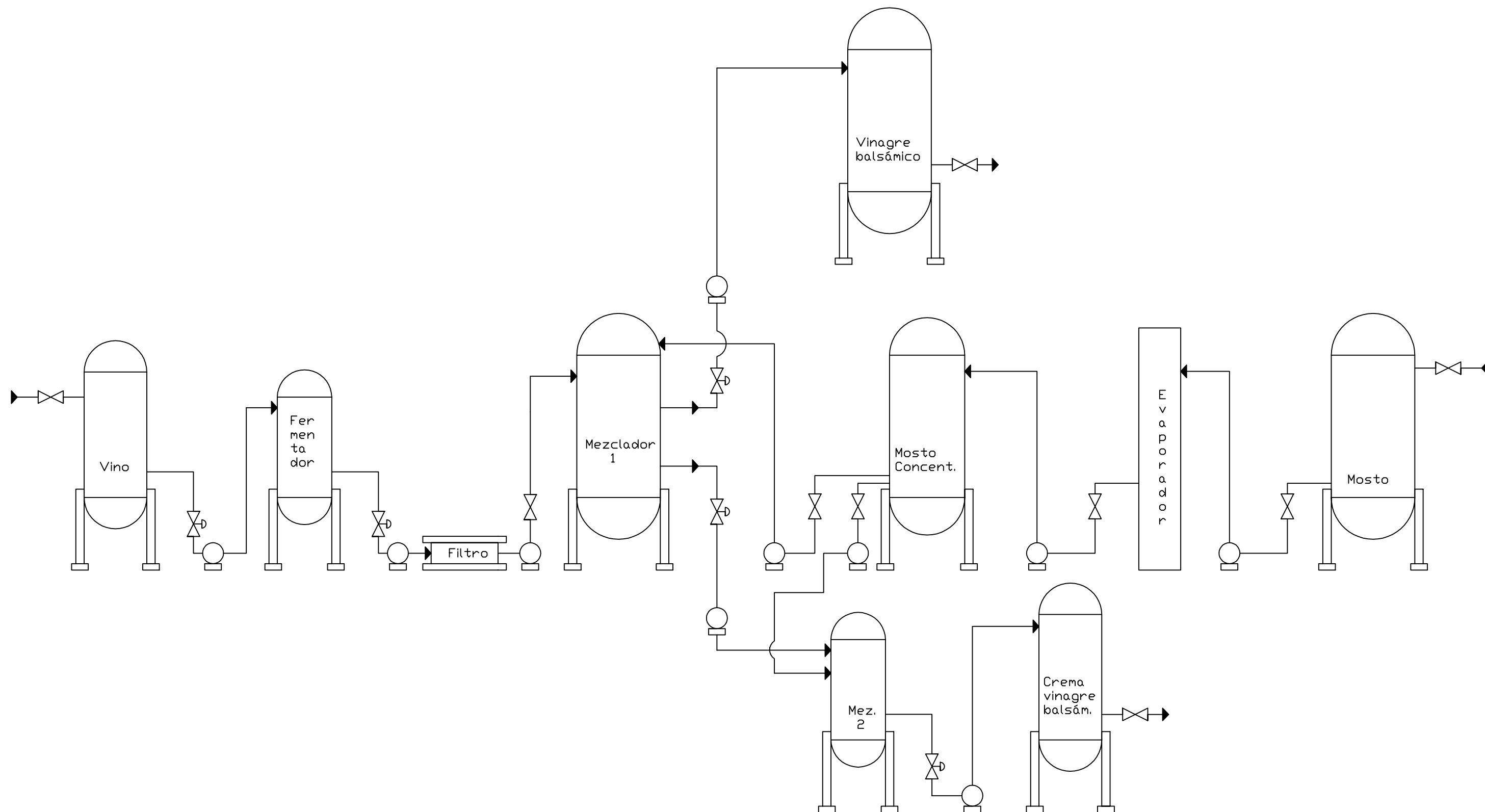
TITULO DEL PLANO:
Representación en planta


FECHA 06/03/15

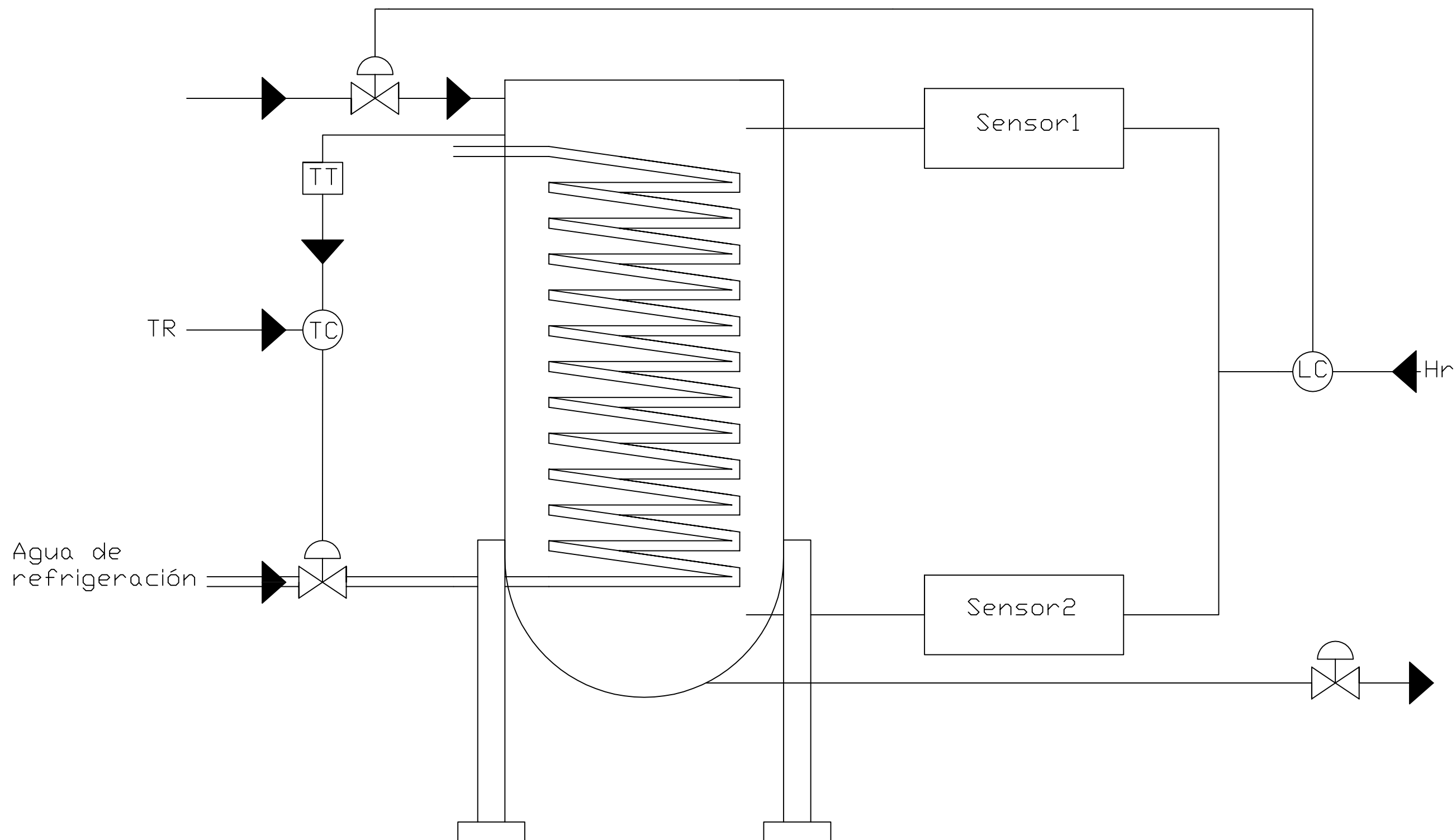
FIRMA:

EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)

AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia



	PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados	REF	002
		ESCALA	S/E
	TITULO DEL PLANO: Diagrama de flujo de la instalación	FECHA	06/03/15
		FIRMA:	
EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)			
AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia			



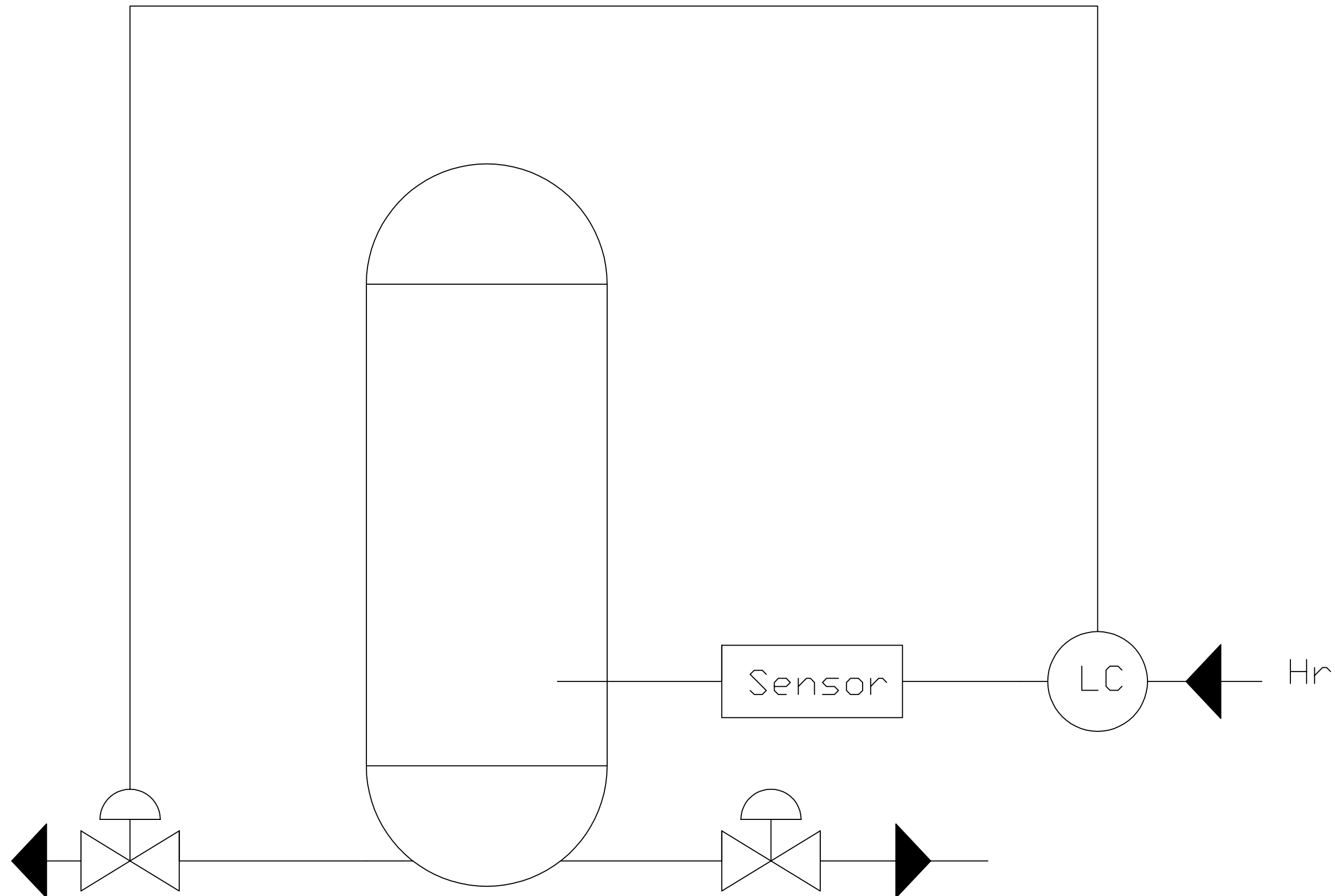
PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados

TITULO DEL PLANO:
Diagrama de control

REF	03A
ESCALA	S/E
FECHA	06/03/15
FIRMA:	

EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)

AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia



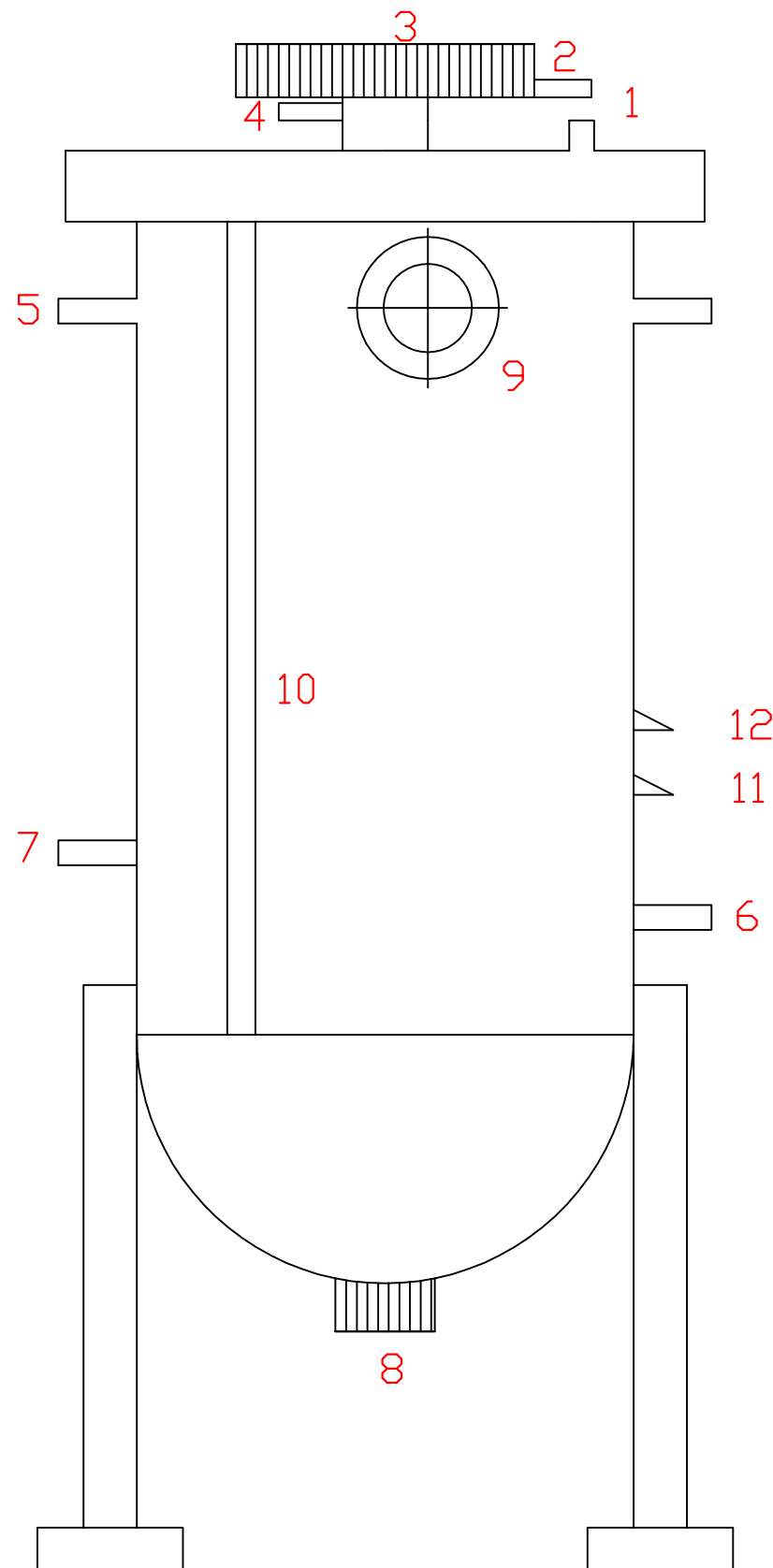
PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados

TITULO DEL PLANO:
Diagrama de control

REF	03B
ESCALA	S/E
FECHA	06/03/15
FIRMA:	


EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)

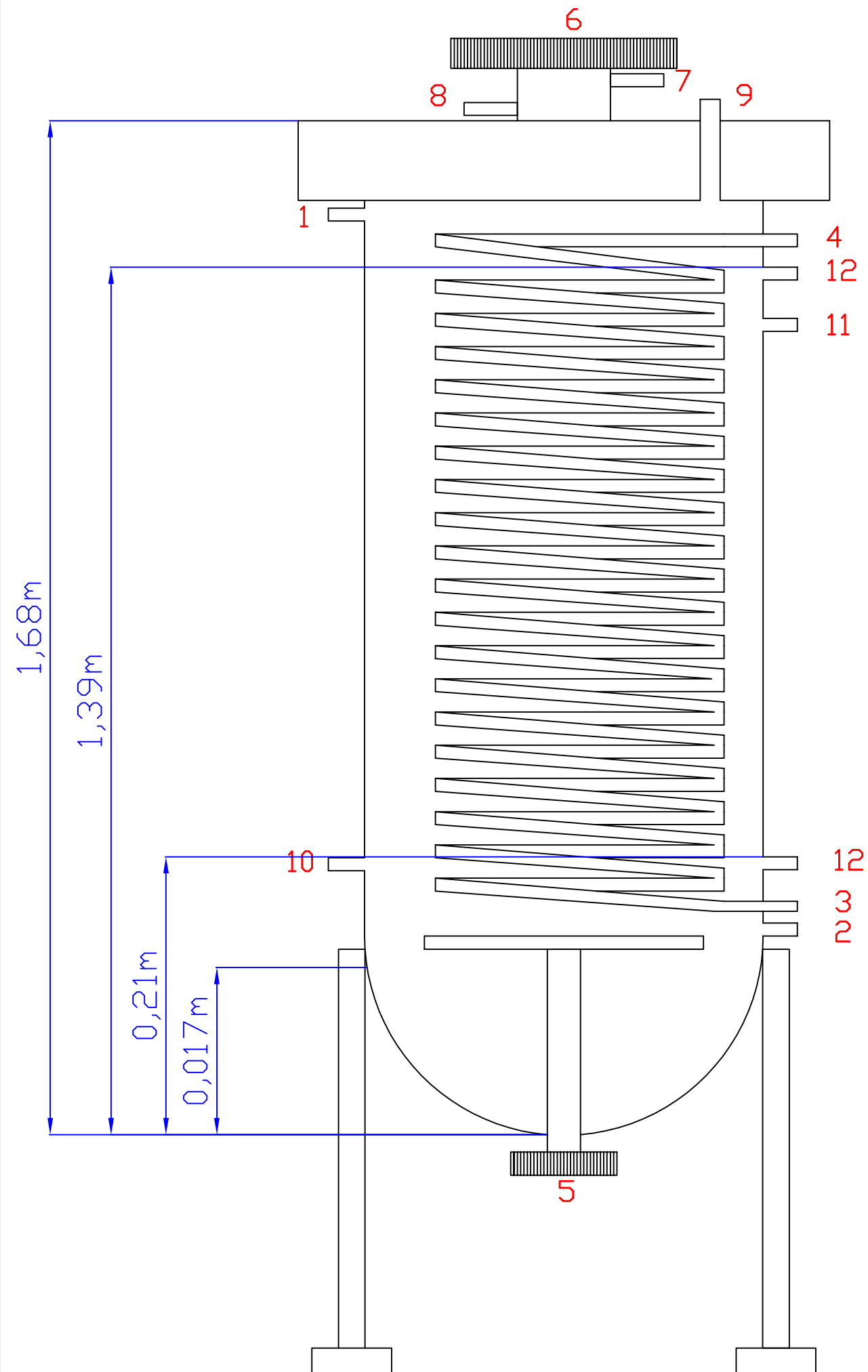
AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia



LEYENDA


- 1- Salida de aire
- 2- Salida de aire de espuma
- 3- Antiespumante
- 4- Salida de espuma concentrada
- 5- Entrada de vino
- 6- Salida de vinagre
- 7- Grifo de muestras
- 8- Aireador agitador
- 9- Mirilla
- 10- Tubo de nivel
- 11- Sensor de temperatura
- 12- Sensor de nivel

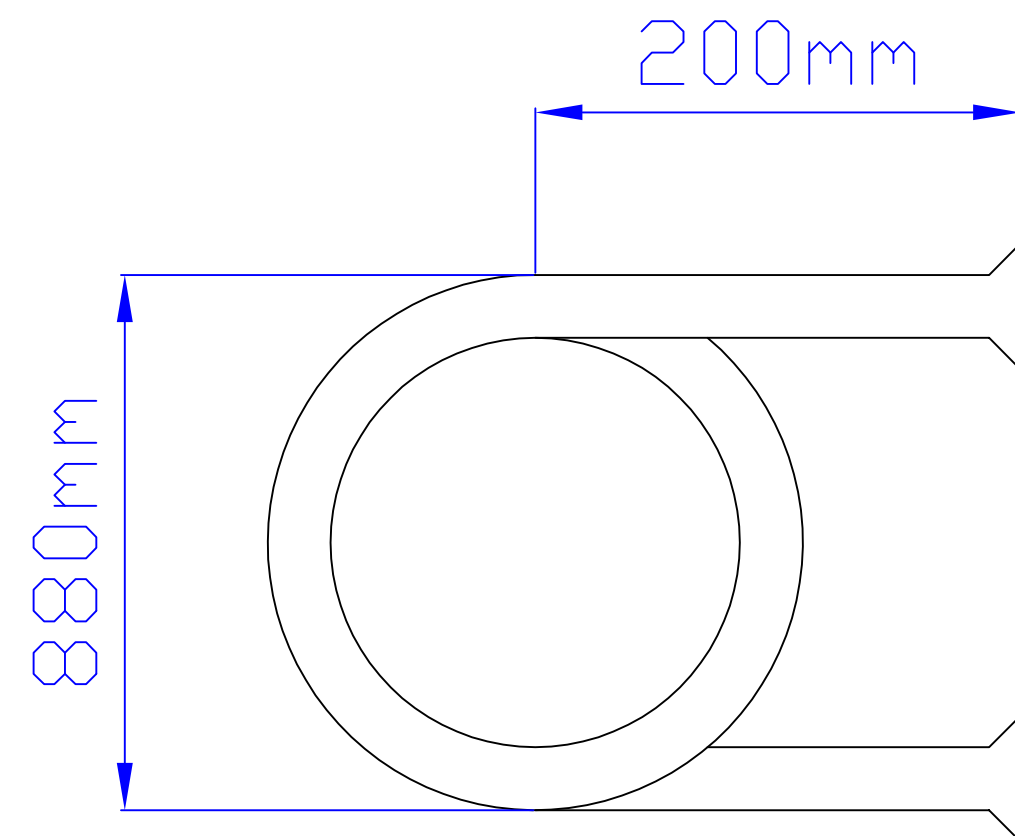
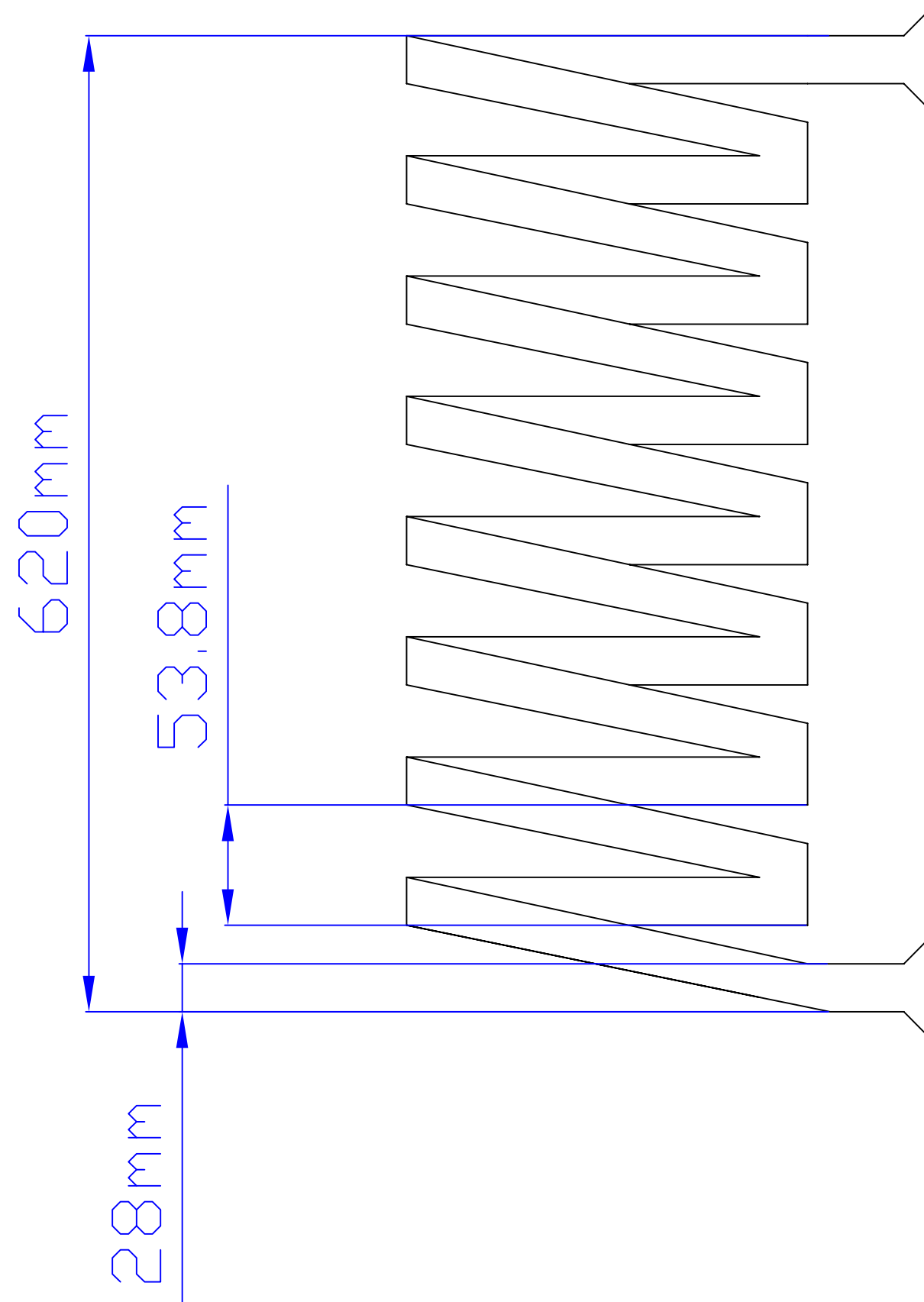
	PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados	REF	04A
		ESCALA	S/E
	TITULO DEL PLANO: Exterior del fermentador	FECHA	06/03/15
		FIRMA:	
EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)			
AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia			



LEYENDA

- 1-Entrada de vino
- 2-Salida de vinagre
- 3-Entrada de agua de refrigeración
- 4-Salida de agua de refrigeración
- 5-Agitador-aireador
- 6-Antiespumante
- 7-Salida de aire espuma
- 8-Salida de espuma concentrada
- 9-Salida de aire
- 10-Grifo muestras
- 11-Sensor de temperatura
- 12-Sensor de nivel

	PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados	REF	04B
		ESCALA	S/E
	TITULO DEL PLANO: Interior del fermentador	FECHA	06/03/15
		FIRMA:	
EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)			
AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia			



PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados

TÍTULO DEL PLANO:
Detalles del serpentín del fermentador

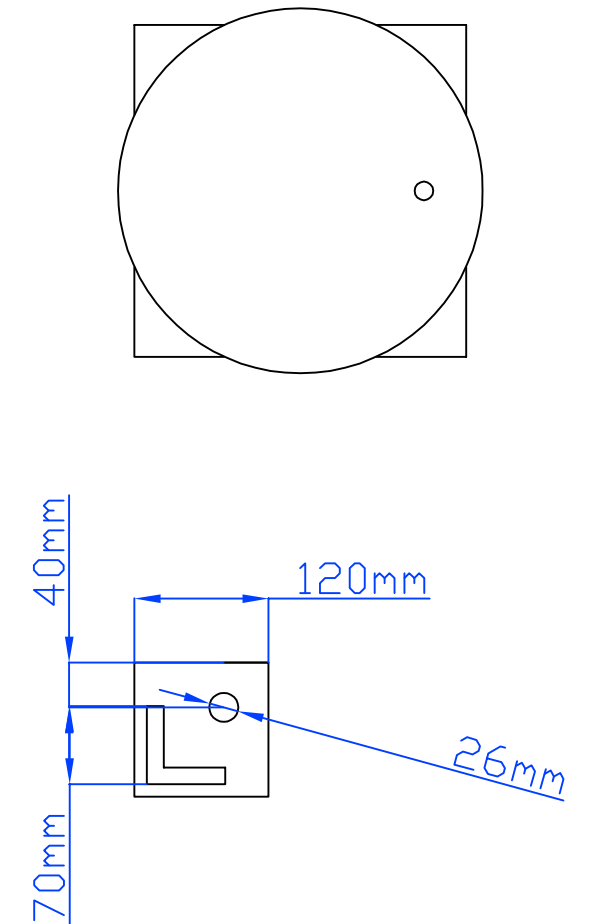
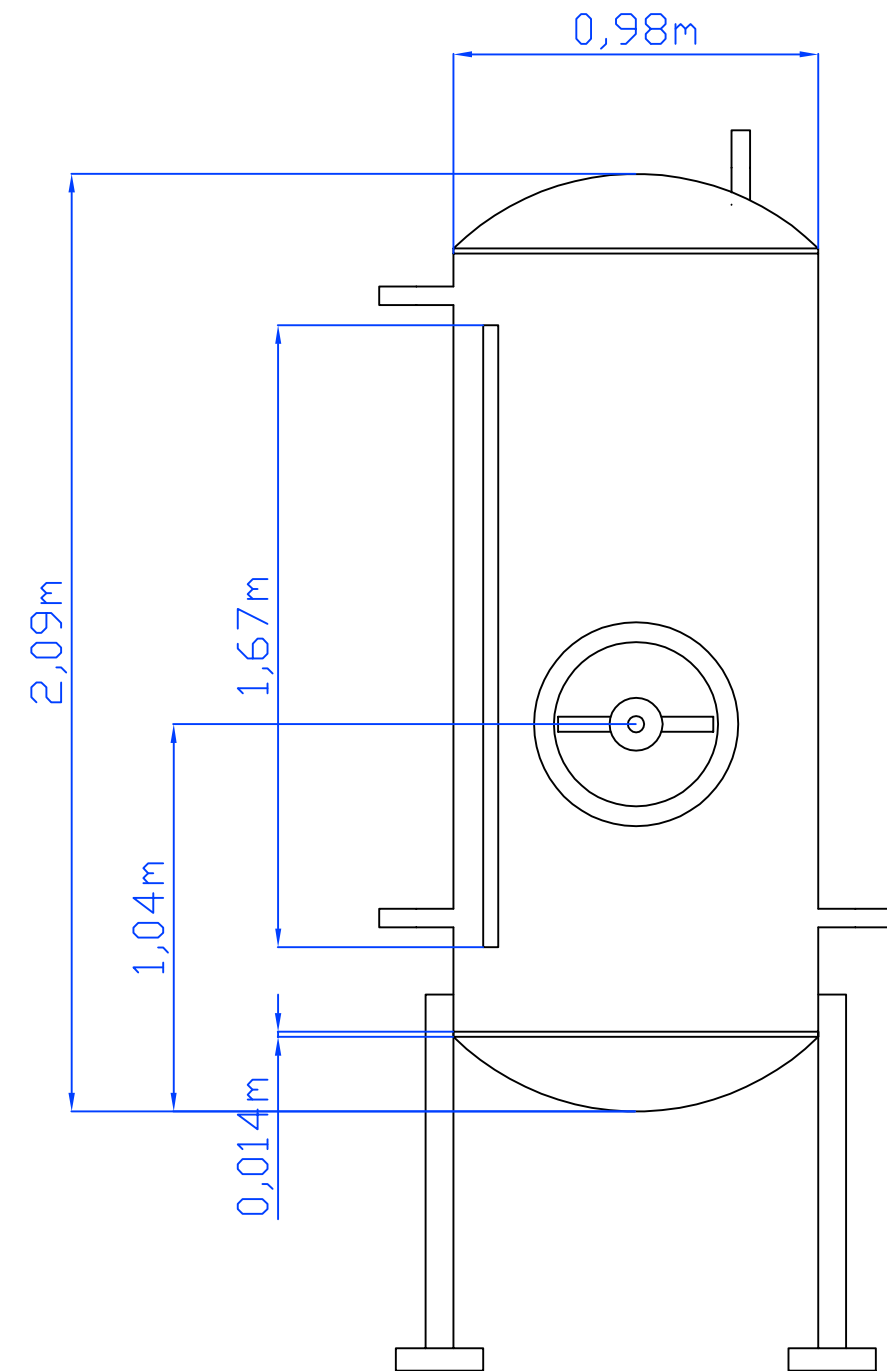
REF	04C
ESCALA	S/E
FECHA	06/03/15
FIRMA:	


EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)

AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia

LEYENDA

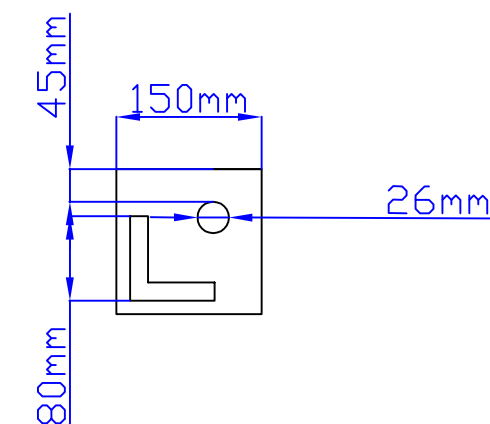
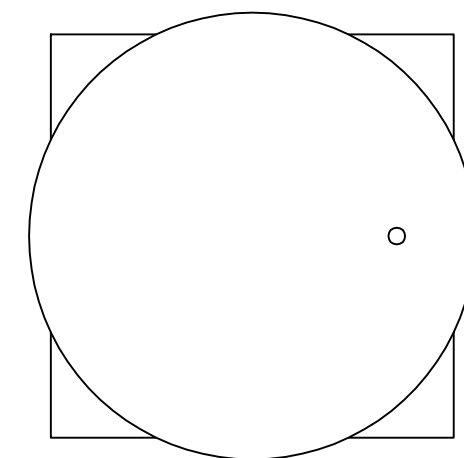
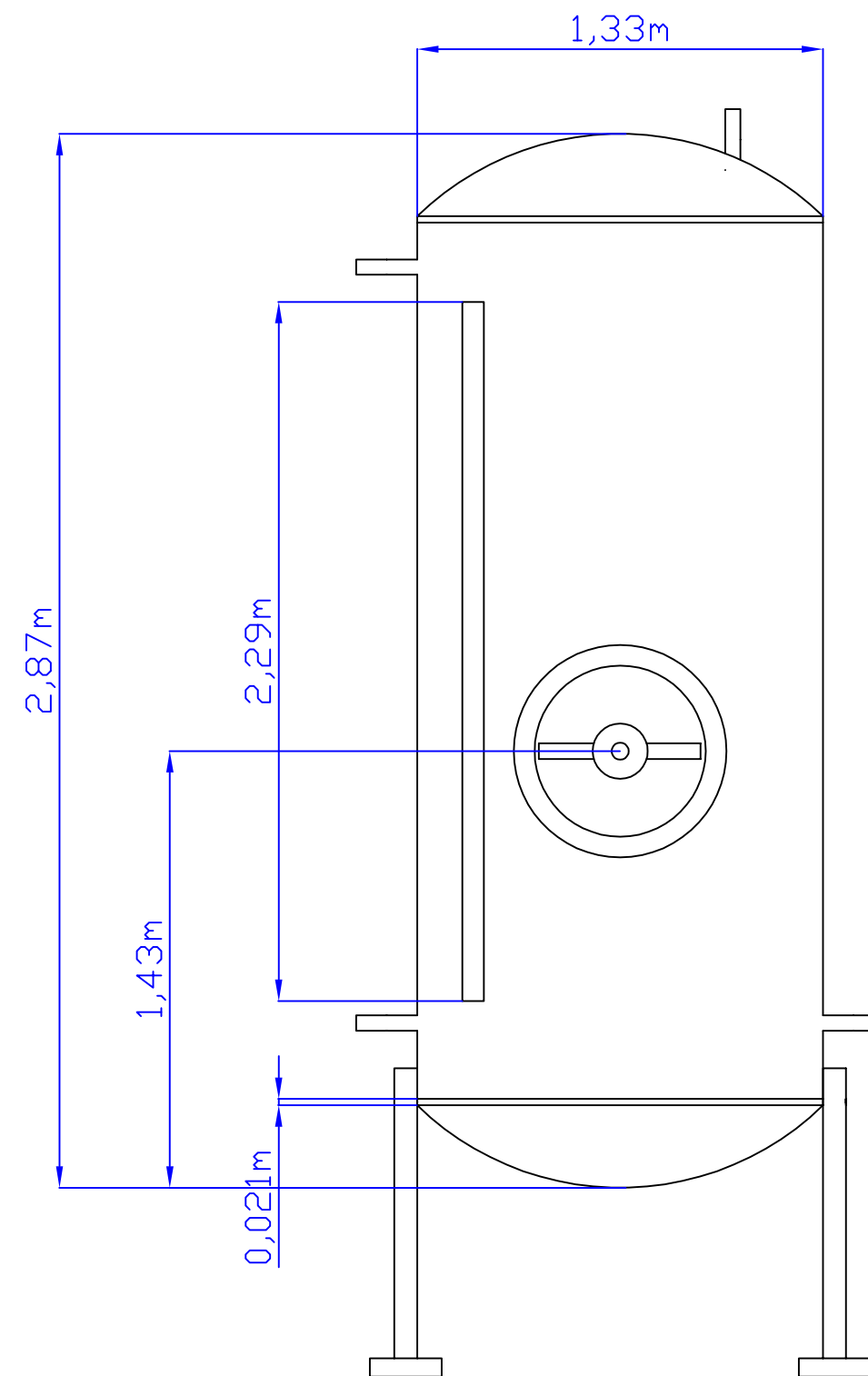
- 1-Salida de aire
- 2-Entrada de vino P.X
- 3-Salida de vino P.X.
- 4-Boca de hombre
- 5-Grifo de muestras
- 6-Tubo de nivel



	PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados	REF	005
		ESCALA	S/E
	TITULO DEL PLANO: Depósito de almacenamiento de vino de Pedro Ximenez	FECHA	06/03/15
		FIRMA:	
EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)			
AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia			

LEYENDA

- 1-Salida de aire
- 2-Entrada de mosto
- 3-Salida de mosto
- 4-Boca de hombre
- 5-Grifo de muestras
- 6-Tubo de nivel



PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados

TITULO DEL PLANO:
Depósito de almacenamiento de mosto

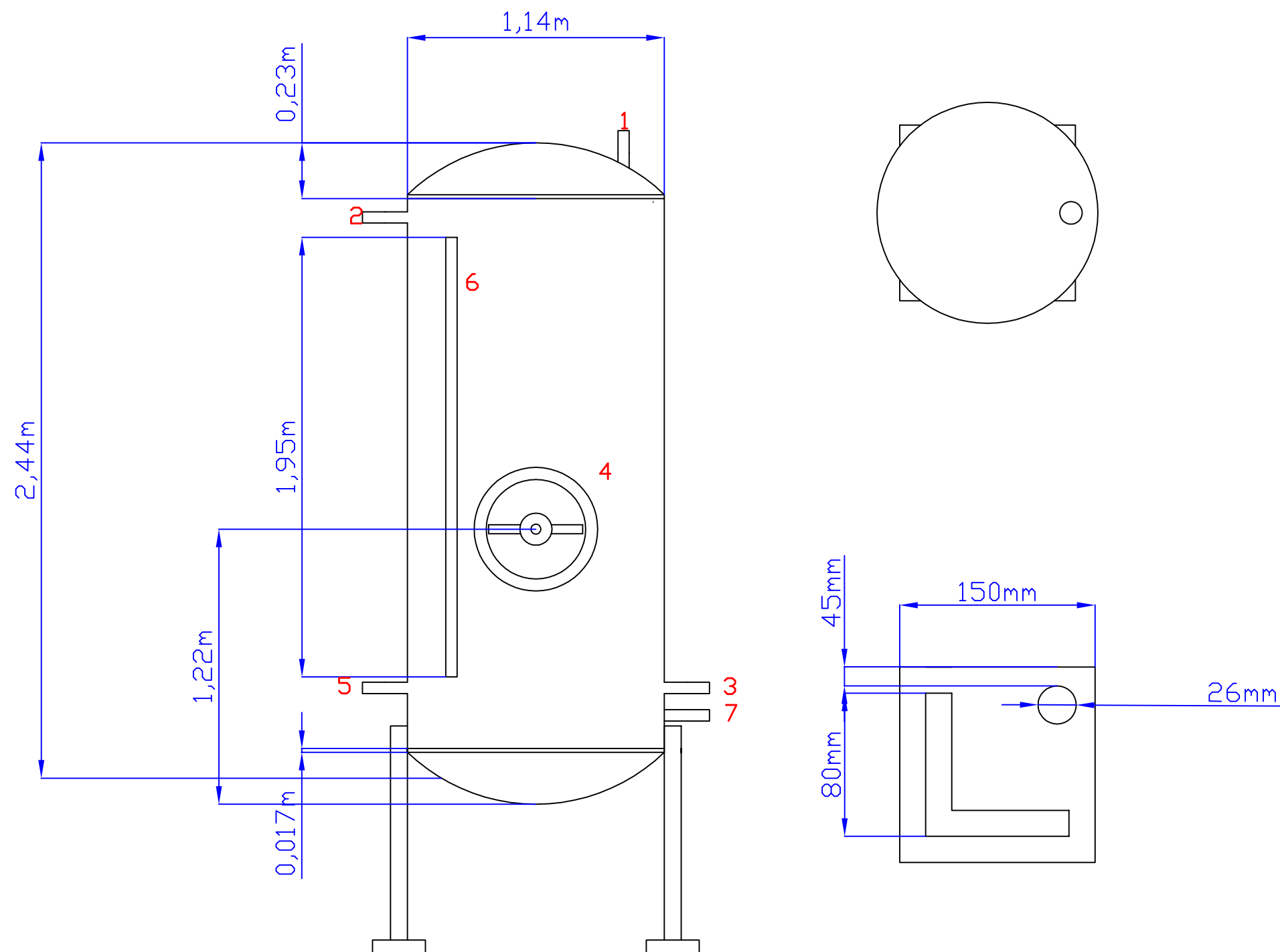
REF	006
ESCALA	S/E
FECHA	06/03/15
FIRMA:	

EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)

AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia

LEYENDA

- 1-Salida de aire
- 2-Entrada de mosto
- 3-Salida de líquido
- 4-Boca de hombre
- 5-Grifo de muestras
- 6-Tubo de nivel
- 7-Salida de mosto



PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados

TÍTULO DEL PLANO:
Depósito de almacenamiento de mosto concentrado

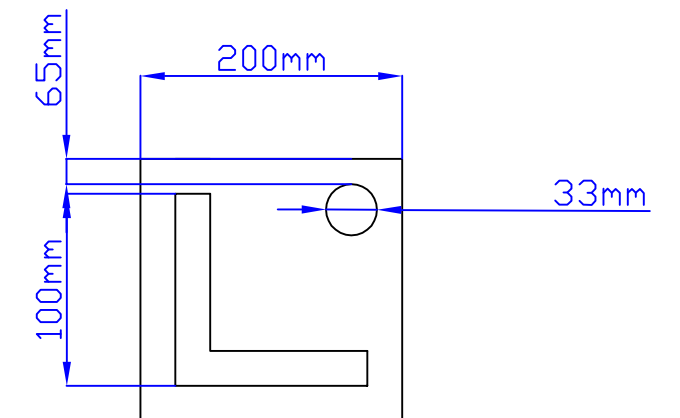
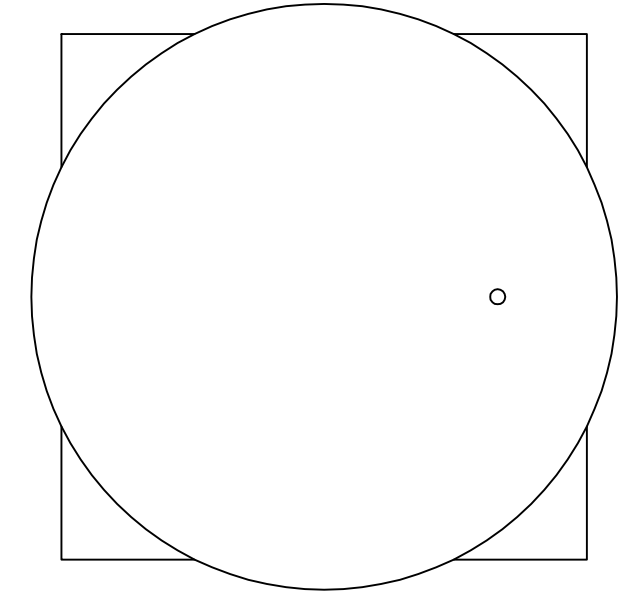
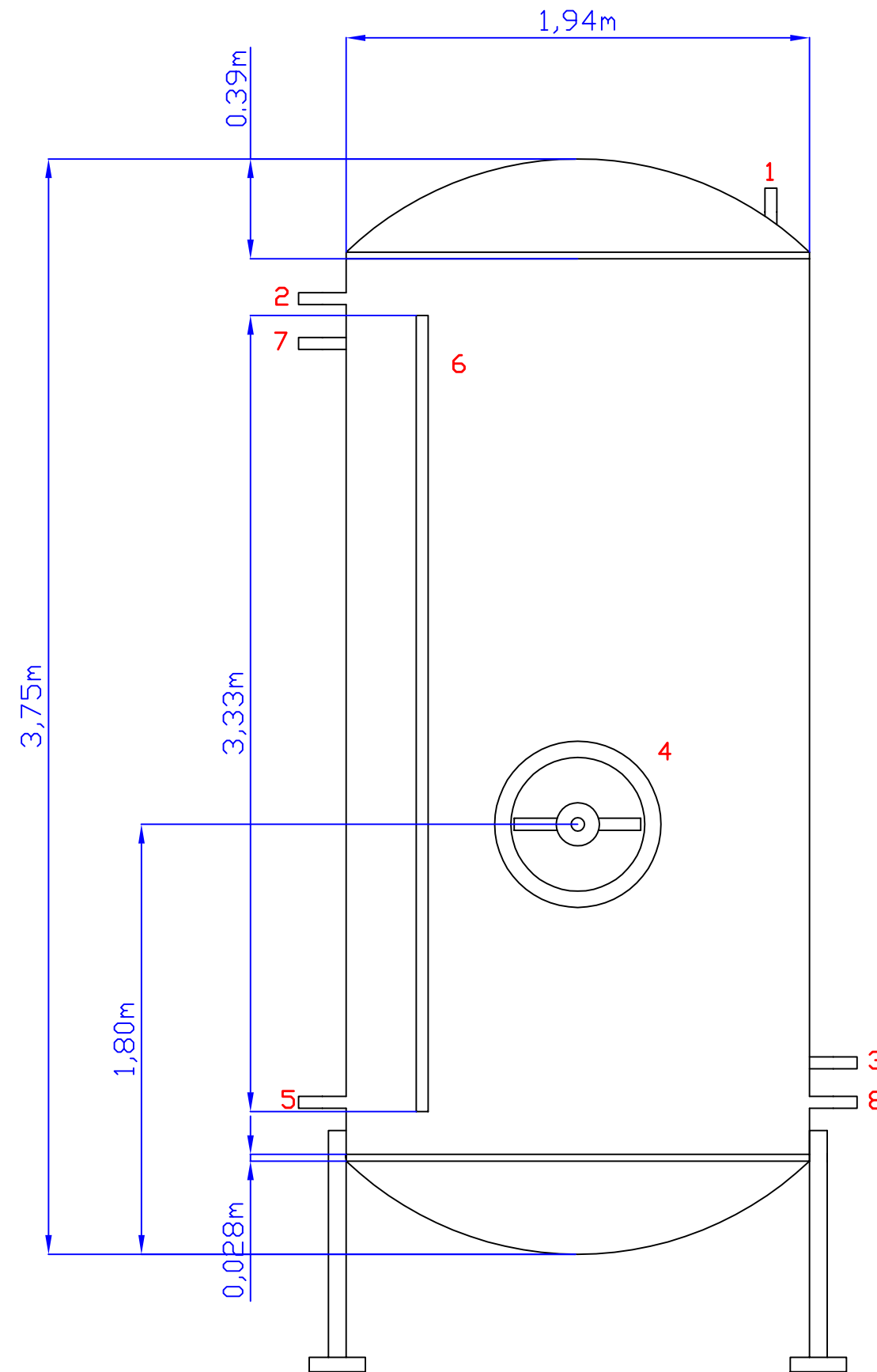
REF	007
ESCALA	S/E
FECHA	06/03/15
FIRMA:	

EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)

AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia

LEYENDA

- 1-Salida de aire
- 2-Entrada de vinagre
- 3-Salida de vinagre balsám.
- 4-Boca de hombre
- 5-Grifo de muestras
- 6-Tubo de nivel
- 7-Entrada de mosto conc.
- 8-Salida de vinagre balsám.



PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados

TITULO DEL PLANO:

Mezclador 1

REF 008

ESCALA S/E

FECHA 06/03/15

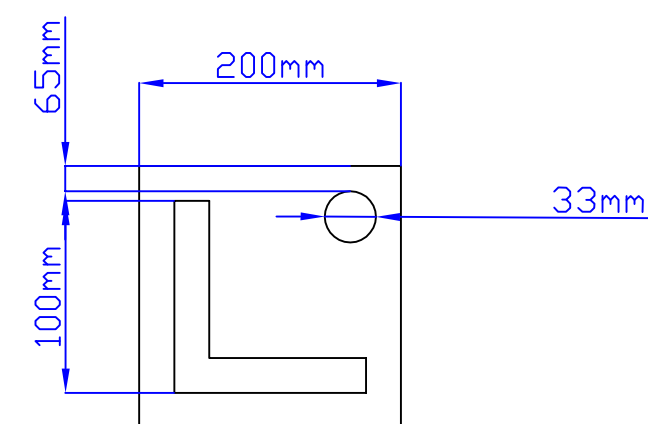
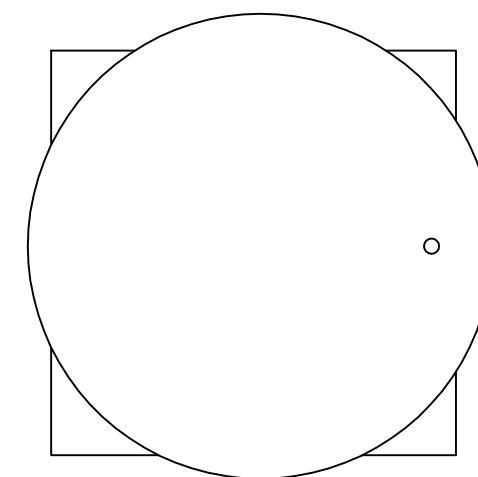
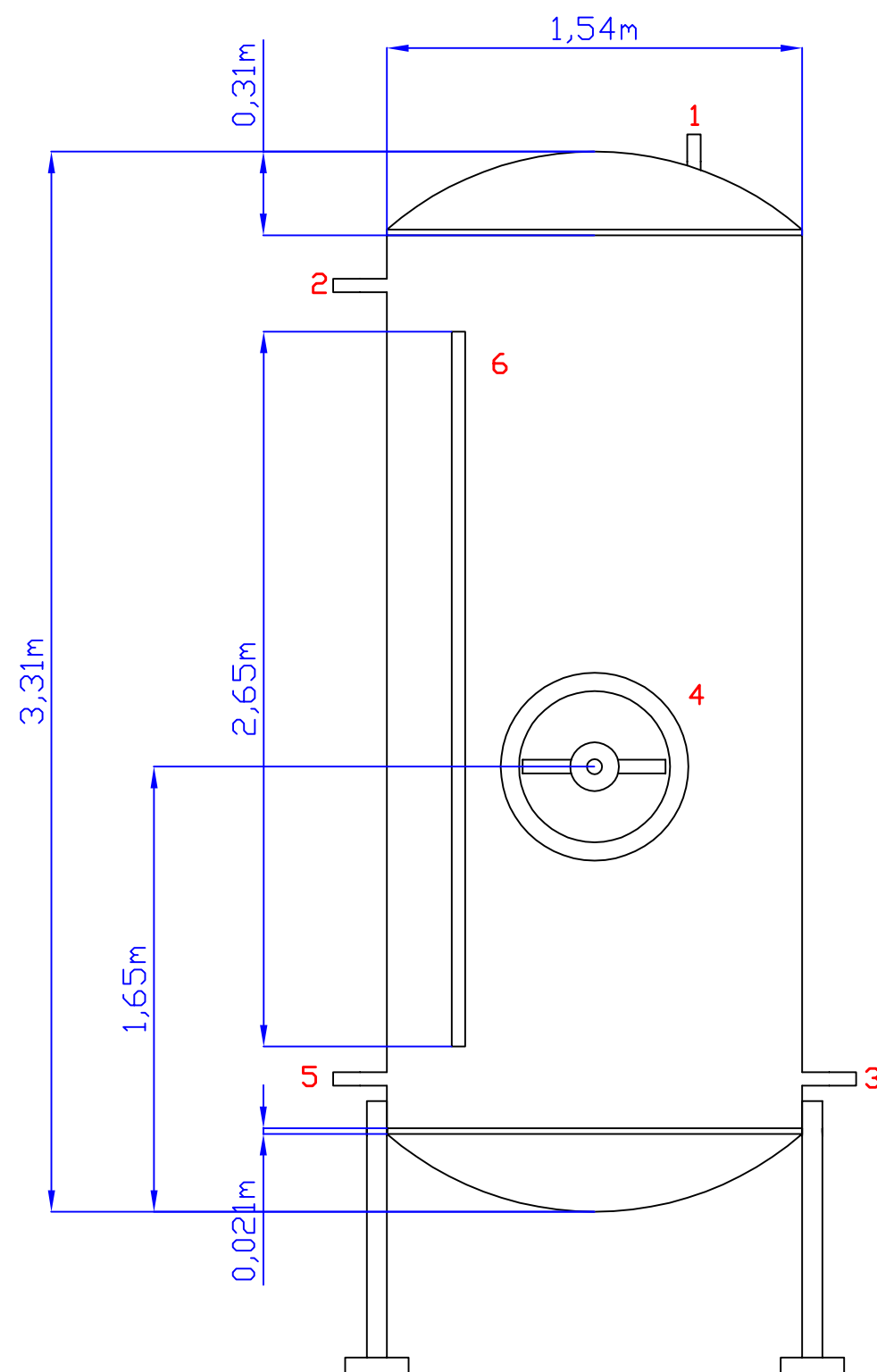
FIRMA:

EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)

AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia

LEYENDA

- 1-Salida de aire
- 2-Entrada de vinagre balsám.
- 3-Salida de vinagre balsám.
- 4-Boca de hombre
- 5-Grifo de muestras
- 6-Tubo de nivel



PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados

TÍTULO DEL PLANO:
Depósito de almacenamiento de vinagre balsámico

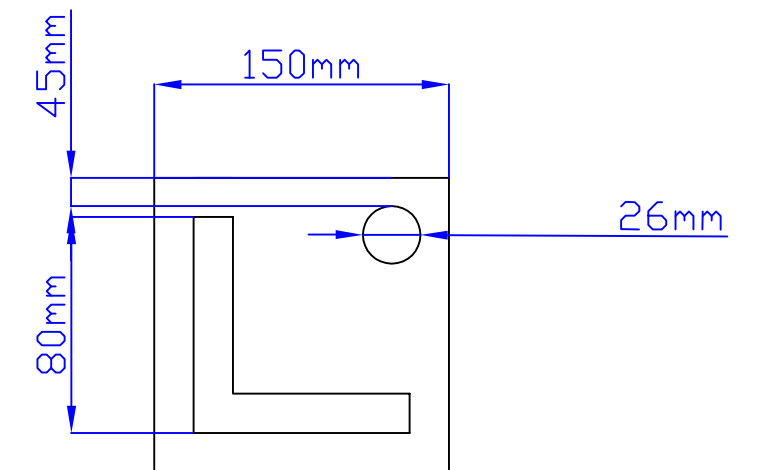
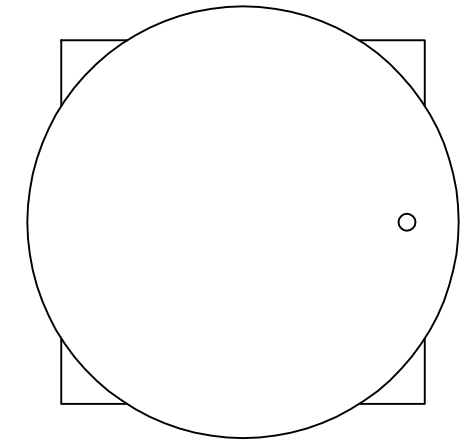
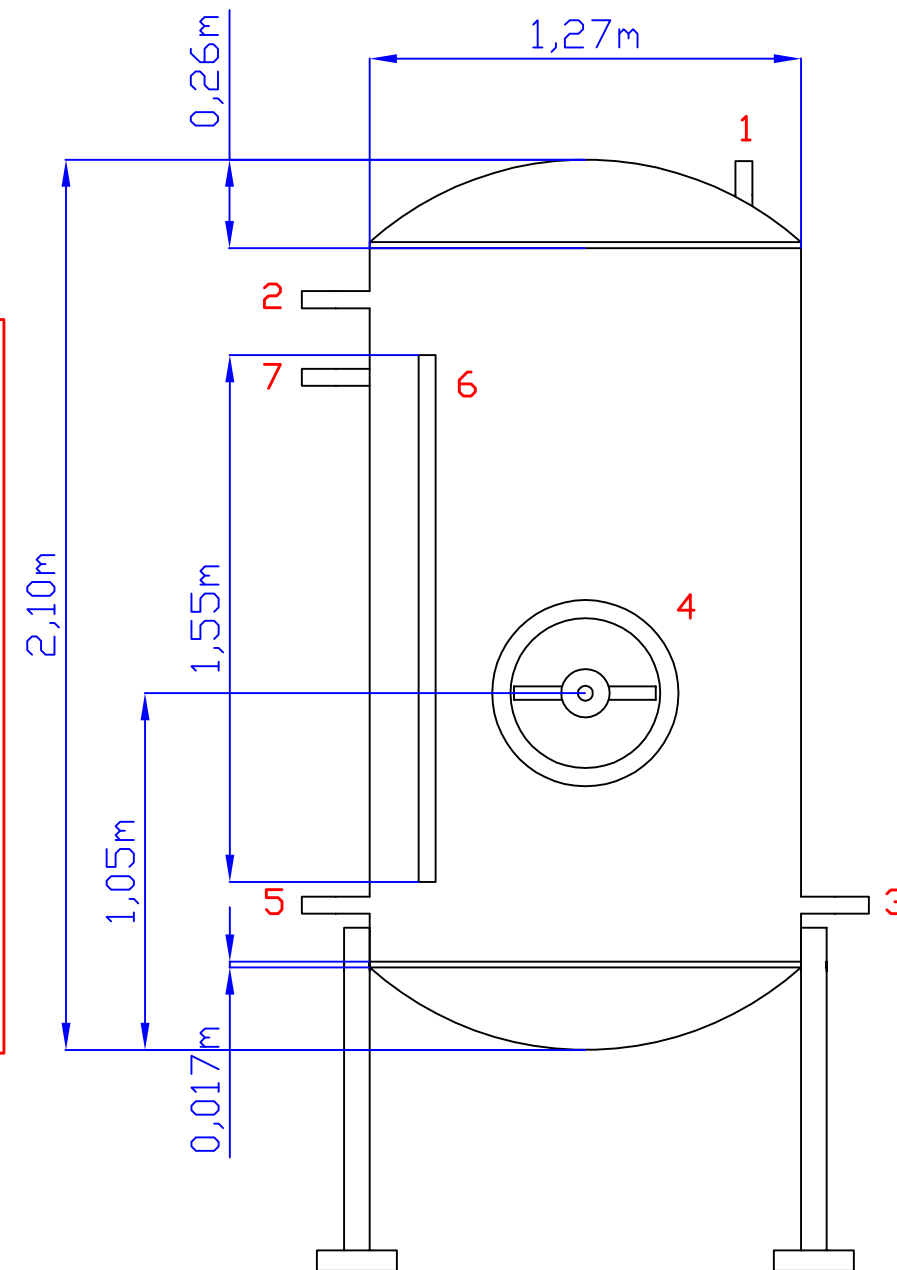
REF	009
ESCALA	S/E
FECHA	06/03/15
FIRMA:	

EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)

AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia

LEYENDA

- 1-Salida de aire
- 2-Entrada de vinagre balsám.
- 3-Salida de crema de vinagre conc.
- 4-Boca de hombre
- 5-Grifo de muestras
- 6-Tubo de nivel
- 7-Entrada de mosto conc.



PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados

TITULO DEL PLANO:

Mezclador 2

REF 010

ESCALA S/E

FECHA 06/03/15

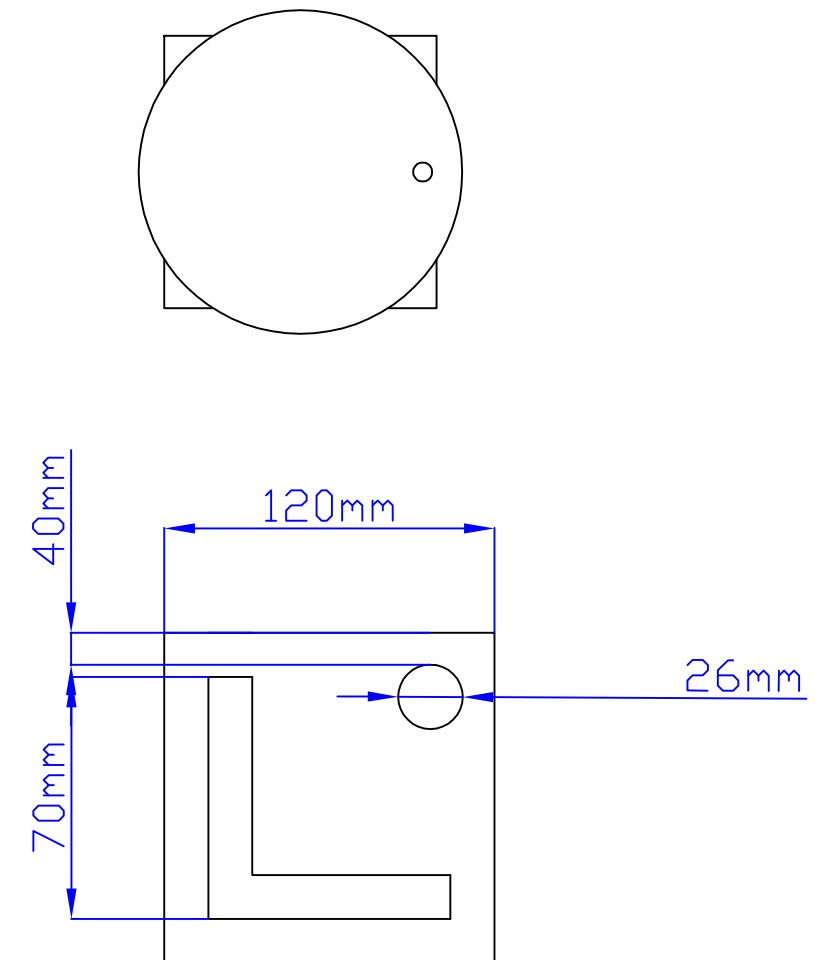
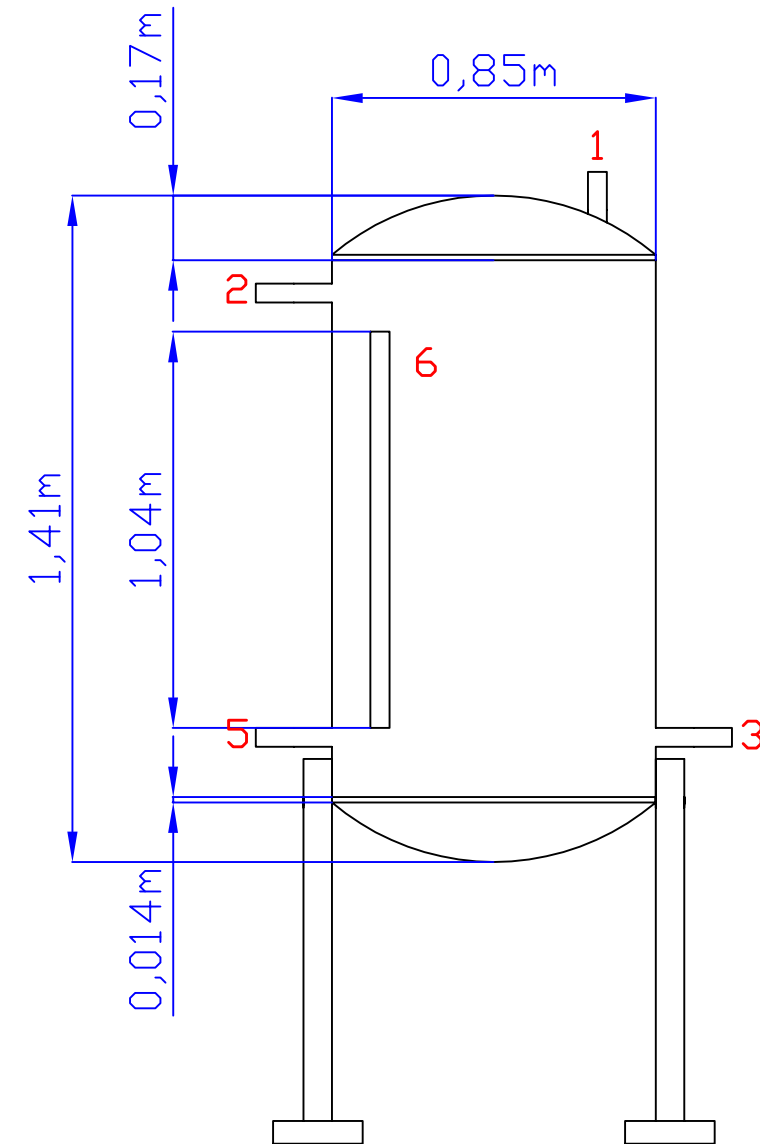
FIRMA:


EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)

AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia

LEYENDA

- 1-Salida de aire
- 2-Entrada de crema de vinagre balsámico
- 3-Salida de crema de vinagre balsámico
- 4-Boca de hombre
- 5-Grifo de muestras
- 6-Tubo de nivel



	PROYECTO: Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximenez y derivados	REF	011
		ESCALA	S/E
	TITULO DEL PLANO: Depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico	FECHA	06/03/15
		FIRMA:	
EMPLAZAMIENTO: Puerto Real (Cádiz)			
AUTOR DEL PROYECTO: Jennifer Tirve Valencia			

DOCUMENTO N° 3:

PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO NÚMERO 3: PLIEGO DE CONDICIONES

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	1
CAPÍTULO 2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	3
1. Disposiciones generales	3
1.1. Objeto del Pliego	3
1.2. Proyecto	3
1.3. Documentación complementaria	4
2. Adjudicación	4
2.1. Concurso	4
2.2. Retirada de Documentación de Concurso	4
2.3. Condiciones legales que debe reunir el contratista para poder ofertar.	5
2.4. Presentación de ofertas	6
2.5. Garantía de mantenimiento de la oferta	7
2.6. Validez de las ofertas	9
2.7. Aclaraciones a los licitadores	9
2.8. Alcance de las aclaraciones	9
2.9. Contraindicaciones y omisiones en la documentación	10
2.10. Planos provisionales y definitivos	10
2.11. Presentaciones defectuosas de las ofertas	11
2.12. Adjudicación del Concurso	11
2.13. Devolución de la Documentación	12
3. El contrato	13
3.1. El contrato	13
3.2. Documentación del Contrato	13
3.3. Formalización del Contrato	14
3.4. Gastos e impuestos	14
3.5. Fianzas provisional, definitiva y fondo de garantía	14
3.6. Aprobación y vigencia del Contrato	16
3.7. Incomparecencia del contratista	16
3.8. Cesión del Contrato	16
3.9. Asociación de contratistas	17
3.10. Subcontratistas	18

3.11. Relaciones entre el promotor y el contratista y entre los diversos contratistas y subcontratistas.	18
3.12. Domicilios y representaciones.	19
4. Obligaciones del contratista	20
4.1. Obligaciones contables	20
4.2. Cumplimiento de la legislación laboral y de seguridad	20
4.3. Seguros	21
4.4. Coberturas a tomar	22
4.5. Obligaciones en materia de seguridad	22
4.6. Sustitución del personal	25
4.7. Rescisión del contrato	26
5. Condiciones económicas y legales	28
5.1. Gastos de carácter general por cuenta del contratista	28
5.2. Gastos de carácter general por cuenta del promotor	29
5.3. Indemnizaciones por cuenta del contratista	29
5.4. Partidas para tareas accesorias	30
5.5. Partidas alzadas	30
5.6. Revisiones de precios	30
5.7. Régimen de intervención	31
5.8. Informes	32
5.9. Revisión de los informes	33
5.10. Certificación de las presentaciones	33
5.11. Confección de las facturas de pago	33
5.12. Pago de los certificados	34
5.13. Propiedad industrial, comercial e intelectual	34
5.14. Tribunales	34
6. Desarrollo de las tareas, condiciones técnico-sanitarias	35
6.1. Modificaciones del Proyecto	35
6.2. Modificaciones de los planos	36
6.3. Empleo de materiales nuevos pertenecientes al promotor	37
6.4. Uso anticipativo del equipo o componentes	37
6.5. Plan de trabajo y montaje	37
6.6. Plazos de ejecución	38

6.7. Retenciones por retrasos durante la ejecución de trabajos	39
6.8. Incumplimientos de los plazos y multas	39
6.9. Supresión de las multas	40
6.10. Procedimiento para la aplicación de multas	40
6.11. Premios y primas	41
6.12. Retrasos ocasionados por el promotor	41
6.13. Daños y ampliación del plazo en caso de fuerza mayor	42
6.14. Mediciones de las tareas ejecutadas	42
6.15. Certificación y abono de las tareas	43
6.16. Abono de unidades incompletas o defectuosas	45
6.17. Informe final	46
6.18. Acta de finalización de las prestaciones	46
6.19. Recepción provisional de los equipos	47
6.20. Plazo de garantía	48
6.21. Recepción definitiva de los equipos	48
6.22. Liquidación	49
 CAPÍTULO 3. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES	 50
1. Especificación de materiales	50
2. Realización de las tareas	55
2.1. Piezas de catálogo	55
2.2. Válvulas, bombas y elementos de control	55
2.3. Depósito de almacenamiento de vino	56
2.4. Fermentador	59
2.5. Equipo de microfiltración	60
2.6. Depósito de almacenamiento de mosto	60
2.7. Depósito de almacenamiento de mosto concentrado	62
2.8. Mezclador 1	63
2.9. Depósito de almacenamiento de vinagre balsámico	65
2.10. Mezclador 2	66
2.11. Depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico	68

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Como se comenta en la Memoria Descriptiva, el alcance del presente proyecto es el diseño de los equipos fundamentales para la producción de vinagre balsámico y crema de vinagre balsámico a escala de planta industrial así como el establecimiento de un modo de operación y protocolos óptimos de la planta.

Atendiendo a este propósito, este Pliego de Condiciones se divide en:

- Pliego de Condiciones Generales, en el que se especifican las relaciones de índole facultativa, económicas y legales que regirán durante la ejecución de las obras entre el Promotor, el Contratista y la Dirección de Obra; aunque las condiciones aquí expuestas siempre estarían supeditadas al correspondiente Pliego de Condiciones Particulares de la Obra.
- Pliego de Condiciones Particulares en el que se especifican las normas, condiciones técnicas y de seguridad que deben cumplirse en la ejecución de las Obras. Así mismo se especifican en este pliego las especificaciones técnicas que deben satisfacer los distintos equipos para que sean aceptador en el presente proyecto.

La planta industrial está diseñada para una producción anual de 200 m³/año de vinagre balsámico de 6º de acidez (800.000 botellas de 25 cl) y 70 m³/año de crema de vinagre balsámico de 3º de acidez (280.000 botellas de 25 cl). Se operará en discontinuo o por lotes, durando cada ciclo fermentativo 3 días. La planta tendrá dos paros vacacionales cada uno de ellos con una duración de 7 días, en los que se llevará a cabo la limpieza y mantenimiento de los equipos.

Para este propósito dispondrá de cinco depósitos de almacenamiento de materias primas, productos y productos intermedios, un fermentador en el que se obtendrá vinagre de vino, un evaporador en el que se obtendrá mosto concentrado como producto intermedio de la planta y dos mezcladores en los que se obtendrán los productos objetos del presente proyecto, vinagre balsámico y crema de vinagre balsámico.

El fermentador de 1,25 m³ estará refrigerado por agua, gracias a un serpentín interno conectado a la red de abastecimiento local.

La aireación necesaria para el proceso se introducirá mediante un aireador-agitador instalado en el fondo inferior del fermentador que además de aportar el oxígeno necesario al medio fermentativo, se encargará también de asegurar el buen contacto entre este y las bacterias acéticas.

El fermentador también contará con un antiespumante instalado en la tapa superior para evitar la acumulación de espumas.

La corriente de salida del fermentador se hará pasar por un filtro tangencial para eliminar la biomasa y así evitar que la fermentación continúe en los mezcladores, donde se obtendrán los productos del proceso.

CAPÍTULO 2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1. Disposiciones generales

1.1. Objeto del Pliego

El presente Pliego de Condiciones Generales tiene por objeto la ordenación, con carácter general, de las condiciones facultativas y económicas que han de regir en los concursos y contratos destinados a la ejecución de los trabajos del presente proyecto, 'Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximénez y derivados'.

El Contratista Adjudicatario se compromete a aceptar íntegramente todas y cada una de las cláusulas del presente Pliego de Condiciones Generales, a excepción de aquellas que expresamente queden anuladas o modificadas en el Pliego de Condiciones Particulares.

1.2. Proyecto

El Proyecto comprende los siguientes documentos:

- Memoria Descriptiva; que considerará las necesidades a satisfacer y los factores de carácter general a tener en cuenta.
- Memoria de Cálculo; donde se verán todos los cálculos necesarios para el diseño de los equipos.
- Planos de conjunto y detalle necesarios para que las tareas queden perfectamente definidas.
- Presupuesto; donde se recogen los distintos cuadros de precios.
- Pliego de Condiciones Particulares, que incluirá la descripción de las tareas, especificaciones de los materiales y elementos constitutivos y normas para la ejecución de las tareas, las condiciones de este Pliego Particular serán preceptivas y prevalecerán sobre las del Pliego General en tanto las modifiquen o contradigan.
- Plazos totales y parciales de ejecución de las tareas, incluidos en el Pliego de Condiciones Particulares.

1.3. Documentación complementaria

Además de los documentos integrantes del Proyecto indicados en el Artículo anterior y del presente Pliego General, serán preceptivas las Normas Oficiales que se especifiquen en el Pliego de Condiciones Particulares.

2. Adjudicación

2.1. Concurso

La licitación de la obra se hará por Concurso Restringido, en el que el promotor convocará a las Empresas Contratistas que estime oportuno.

Los concursantes enviarán sus ofertas por triplicado, en sobre cerrado y lacrado, según se indique en la carta de petición de ofertas, a la dirección que indique el Promotor.

No se considerarán válidas las ofertas presentadas que no cumplan los requisitos citados anteriormente, así como los indicados en la Documentación Técnica enviada.

2.2. Retirada de Documentación de Concurso

Los Contratistas, por sí mismos o a través de sus representantes, podrán retirar dicha documentación de las oficinas del Promotor cuando ésta no les hubiese sido enviada previamente.

El Promotor se reserva el derecho de exigir para la retirada de la documentación, un depósito que será reintegrado en su totalidad a los Contratistas que no hubiesen resultado adjudicatarios de la obra, previa devolución de dicha documentación.

2.3. Condiciones legales que debe reunir el contratista para poder ofertar.

- Capacidad para concurrir

Las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras que se hallen en plena posesión de su capacidad jurídica y de obrar.

No obstante, serán de aplicación a las Empresas extranjeras las normas de ordenación de la industria y las que regulen las inversiones de capital extranjero, así como las que dicte el Gobierno sobre concurrencia de dichas empresas, antes de la licitación de estas obras.

- Documentación justificativa para la admisión previa

- Documento oficial o testimonio notarial del mismo que acredite la personalidad del solicitante.
- Documento notarial justificativo de la representación ostentada por el firmante de la propuesta, así como documento oficial acreditativo de su personalidad.
- Documento que justifique haber constituido la fianza provisional en las formas que se determinan en el apartado 2.6. del Pliego de Condiciones Generales.
- Documento acreditativo de que el interesado está al corriente en el pago del impuesto industrial en su modalidad de cuota fija o de Licencia Fiscal, (o compromiso, en su caso, de su matriculación en éste, si resultase adjudicatario de las obras).

2.4. Presentación de ofertas

Las Empresas que oferten en el Concurso presentarán obligatoriamente los siguientes documentos en original y dos copias:

- Cuadro de Precios N°1, consignando en letra y cifra los precios unitarios asignados a cada tarea cuya definición figura en dicho cuadro. Estos precios deberán incluir el % de Gastos Generales, Beneficio Industrial y el IVA que facturarán independientemente. En caso de no coincidir las cantidades expresadas en letra y cifra, se considerará como válida la primera. En el caso de que existiese discrepancia entre los precios unitarios de los Cuadros de Precios Números 1 y 2, prevalecerá el del Cuadro N°1.
- Cuadro de Precios N°2, en el que se especificará claramente el desglose de la forma siguiente:
 - o Mano de obra por categorías, expresando el número de horas invertido por categoría y precio horario.
 - o Materiales, expresando la cantidad que se precise de cada uno de ellos y su precio unitario.
 - o Maquinaria y medios auxiliares, indicando tipo de máquina, número de horas invertido por máquina y precio horario.
 - o Transporte, indicando en las unidades que lo precisen el precio por peso y kilómetro.
 - o Varios y resto de tareas que incluirán las partidas directas no comprendidas en los apartados anteriores.
 - o Porcentajes de Gastos Generales, Beneficios e IVA.
- Presupuesto de ejecución Material, obtenido al aplicar los precios unitarios a las mediciones del Proyecto. En caso de discrepancia entre los precios aplicados en el Presupuesto y los del Cuadro de Precios N°1, obligarán los de este último.
- Presupuesto Total, obtenido al incrementar el Presupuesto de ejecución Material en sus dos apartados con el % de IVA.

- Relación del personal técnico adscrito a la ejecución y organigrama general del mismo durante el desarrollo de las tareas.
- Relación de maquinaria adscrita a la obra, expresando tipo de máquina, características técnicas fundamentales, años de uso de la máquina y estado general; asimismo relación de máquinas de nueva adquisición que se asignarán a la obra en de resultar adjudicatario. Cualquier sustitución posterior de la misma debe ser aprobada por el Promotor. Deberá incluirse asimismo un plan de permanencia de toda la maquinaria en obra.
- Baremos horarios de mano de obra por categorías y de maquinaria para trabajos por administración. Estos precios horarios incluirán el % de Gastos Generales y Beneficio Industrial y el IVA. que facturarán independientemente.
- Plan de obra detallado, en el que se desarrollarán en el tiempo las distintos trabajos a ejecutar, haciendo mención de los rendimientos medios a obtener.
- Las propuestas económicas y documentación complementaria deberán venir firmadas por el representante legal o apoderado del ofertante quien, a petición del Promotor, deberá probar este extremo con la presentación del correspondiente poder acreditativo.
- Además de la documentación reseñada anteriormente y que el Contratista deberá presentar con carácter obligatorio, el Promotor podrá exigir en cada caso, cualquier otro tipo de documentación, como pueden ser referencias, relación de tareas ejecutadas, balances de la sociedad, etc.

2.5. Garantía de mantenimiento de la oferta

Para afianzar el mantenimiento de la oferta, cada licitador presentará una Garantía. La garantía deberá tener vigencia y validez durante 90 días.

La garantía será constituida a favor del Promotor, en cualquiera de las siguientes formas:

- Dinero en efectivo, mediante depósito en euros en la cuenta que oportunamente indique el Promotor, o mediante la entrega de un certificado de depósito a plazo fijo a 90 días renovables automáticamente, extendido a nombre del Promotor. Los intereses sobre la garantía constituida, en este caso, formarán parte de la misma.
- Fianza bancaria de entidad autorizada por el Banco Central de España, pagadera incondicionalmente al primer requerimiento del Promotor, mediante el correspondiente documento afianzando al licitador, emitido en carácter de fiador liso y llano y principal pagador con renuncia a los beneficios de división y exclusión y a toda interpelación previa al deudor principal.
- Póliza de seguro, extendida por entidad aseguradora de reconocida solvencia.

En el caso de las formas previstas en los dos últimos apartados anteriores, el texto de la fianza o del seguro deberá indicar la identificación del presente concurso, el beneficiario del seguro (Promotor) y el plazo de duración, el que en ningún caso será inferior al período de 90 días.

Sin perjuicio de lo anterior, la fianza y/o el seguro se deberán cumplimentar en las condiciones especificadas, incorporando a tal fin en el texto de la póliza, la fórmula expresada en el citado dispositivo normativo.

Las garantías de mantenimiento de oferta deberán ser otorgadas a entera satisfacción del Promotor, que deberá prestar conformidad con el texto, con los documentos que las instrumenten y con las instituciones y personas que las otorguen.

En el caso de que las garantías no hayan sido presentadas o constituidas a satisfacción (y siempre que no se trate de deficiencias insalvables y que constituyan causal de rechazo de la oferta), el Promotor queda facultado para solicitar su sustitución o modificación, inclusive para rechazar al fiador o asegurador presentado. En caso de producirse tal supuesto, y a simple requerimiento del Promotor, el licitador deberá presentar una nueva garantía, dentro del término de 72 horas.

La garantía de mantenimiento de oferta del licitador que no resulte adjudicatario, será devuelta a partir de los 10 días posteriores a la notificación de aprobación del contrato, previa presentación de una solicitud por escrito en tal sentido por parte del interesado.

2.6. Validez de las ofertas

No se considerará válida ninguna oferta que se presente fuera del plazo señalado en la carta de invitación, o anuncio respectivo, o que no conste de todos los documentos que se señalan en el apartado 2.4.

Los concursantes se obligan a mantener la validez de sus ofertas durante un periodo mínimo de 90 días a partir de la fecha tope de recepción de ofertas, salvo que en la documentación de petición de ofertas se especifique otro plazo.

2.7. Aclaraciones a los licitadores

Antes de transcurrido la mitad del plazo estipulado en las bases del Concurso, los Contratistas participantes podrán solicitar por escrito al Promotor las oportunas aclaraciones, en el caso de encontrar discrepancias, errores u omisiones en los Planos, Pliegos de Condiciones o en otros documentos de Concurso, o si se les presentasen dudas en cuanto a su significado.

El Promotor estudiará las peticiones de aclaración e información recibidas y las contestará mediante una nota que remitirá a todos los presuntos licitadores.

Si la importancia de la consulta así lo aconsejara, el Promotor podrá prorrogar el plazo de presentación de ofertas, comunicándolo así a todos los interesados.

2.8. Alcance de las aclaraciones

La totalidad de las aclaraciones emitidas en virtud de lo establecido en el artículo precedente, pasarán a formar parte

integrante del pliego. No se admitirán reclamos o acciones de índole alguna fundadas en falta de información.

Por otra parte, el solo retiro del pliego implica la aceptación para que el Promotor modifique y/o introduzca agregados y/o efectúe aclaraciones al contenido de los mismos y/o prorrogue los plazos previstos.

Todas las aclaraciones que emita el Promotor serán numeradas en forma correlativa y ordenadas cronológicamente.

2.9. Contraindicaciones y omisiones en la documentación

Lo mencionado, tanto en el Pliego de Condiciones Generales, como en el particular de cada tarea y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción entre los Planos y alguno de los mencionados Pliegos de Condiciones, prevalecerá lo escrito en estos últimos.

Las omisiones en los Planos y Pliegos de Condiciones o las descripciones erróneas de los detalles de las tareas que deban ser subsanadas para que pueda llevarse a cabo el espíritu o intención expuesto en los Planos y Pliegos de Condiciones o que, por uso y costumbres, deben ser realizados, no solo no exime al Contratista de la obligación de ejecutar estos detalles de obra omitidos o erróneamente descritos sino que, deberán ser ejecutados como si se hubiera sido completa y correctamente especificados en los Planos y Pliegos de Condiciones.

2.10. Planos provisionales y definitivos

Con el fin de poder acelerar los trámites de licitación y adjudicación de las tareas y consecuente iniciación de las mismas, el Promotor, podrá facilitar a los contratistas, para el estudio de su oferta, documentación con carácter provisional. En tal caso, los planos que figuren en dicha documentación no serán válidos para construcción, sino que únicamente tendrán el carácter de informativos y servirán para formar ideas de los elementos que componen los trabajos, así como para obtener las mediciones

aproximadas y permitir el estudio de los precios que sirven de base para el presupuesto de la oferta. Este carácter de planos de información se hará constar expresamente y en ningún caso podrán utilizarse dichos planos para la ejecución de ninguna parte de las tareas.

Los planos definitivos se entregarán al Contratista con antelación suficiente a fin de no retrasar la preparación y ejecución de los trabajos.

2.11. Presentaciones defectuosas de las ofertas

Si durante el acto de apertura de las ofertas se observara la no inclusión en los mismos, o el no cumplimiento en forma integral de cualquiera de los requisitos establecidos, se dejará la constancia correspondiente. El o los licitadores que hayan incurrido en tal situación deberán cumplimentar la entrega de la documentación omitida u observada (siempre que la misma no constituya una causa taxativa de rechazo de la oferta), dentro de los 2 días hábiles siguientes a la clausura del acto, sin necesidad de notificación previa.

El incumplimiento de este requisito en el plazo establecido, será causa de desestimación de la oferta que incurra en tal situación, no teniéndosela en cuenta a los efectos de la adjudicación.

2.12. Adjudicación del Concurso

El Promotor procederá a la apertura de las propuestas presentadas por los licitadores y las estudiará en todos sus aspectos. El Promotor tendrá alternativamente la facultad de adjudicar el Concurso a la propuesta más ventajosa, sin atender necesariamente al valor económico de la misma, o declarar desierto el concurso. En este último caso, el Promotor podrá libremente suspender definitivamente la licitación de las obras o abrir un nuevo concurso pudiendo introducir las variaciones que estime oportunas, en cuanto al sistema de licitación y relación de Contratistas ofertantes.

Transcurriendo el plazo indicado en el artículo 9 desde la fecha límite de presentación de oferta, sin que el Promotor, hubiese comunicado la resolución del concurso, podrán los licitadores que lo deseen, proceder a retirar sus ofertas, así como las fianzas depositadas como garantía de las mismas.

La elección del adjudicatario de la obra por parte del Promotor es irrevocable y, en ningún caso, podrá ser impugnada por el resto de los contratistas ofertantes.

El Promotor comunicará al ofertante seleccionado la adjudicación de las obras mediante una carta de intención.

En el plazo máximo de un mes a partir de la fecha de esta carta, el Contratista a simple requerimiento del Promotor se prestará a formalizar un contrato definitivo. En tanto no se firme éste y se constituya la fianza definitiva, el Promotor retendrá la fianza provisional depositada por el Contratista.

2.13. Devolución de la Documentación

Los Planos, Pliegos de Condiciones y demás documentación del concurso, entregado por el Promotor a los concursantes, deberá ser devuelto después de la adjudicación del concurso, excepto por lo que respecta al Adjudicatario, que deberá conservarla sin poder reclamar la cantidad abonada por dicha documentación.

El plazo para devolver la documentación será de 30 días, a partir de la notificación a los concursantes de la adjudicación del concurso y su devolución tendrá lugar en las mismas oficinas de donde fue retirada.

El Promotor, a petición de los concursantes no adjudicatarios, devolverá la documentación correspondiente a las ofertas en un plazo de 30 días, a partir de haberse producido dicha petición.

La no devolución por parte de los contratistas no adjudicatarios de la documentación del concurso dentro del plazo, lleva implícita la pérdida de los derechos de la devolución del

depósito correspondiente a la referida documentación, si lo hubiese.

3. El contrato

3.1. El contrato

A tenor de lo dispuesto en el apartado 2.12, el Contratista, dentro de los 30 días siguientes a la comunicación de la adjudicación y a simple requerimiento del Promotor, depositará la fianza definitiva y formalizará el Contrato en el lugar y fecha que se le notifique oficialmente.

El Contrato, tendrá carácter de documento privado, pudiendo ser elevado a público, a instancias de una de las partes, siendo en este caso a cuenta del Contratista los gastos que ello origine.

Una vez depositada la fianza definitiva y firmado el Contrato, el Promotor procederá, a petición del interesado, a devolver la fianza provisional, si la hubiera.

Cuando por causas imputables al Contratista no se pudiera formalizar el Contrato en el plazo previsto, el Promotor podrá proceder a anular la adjudicación, con incautación de la fianza provisional.

A efectos de los plazos de ejecución de las tareas, se considerará como fecha de comienzo de las mismas la de la orden de comienzo de los trabajos. Esta orden se comunicará al Contratista en un plazo no superior a 90 días a partir de la fecha de la firma del Contrato.

El Contrato será firmado por parte del Contratista, por su representante legal o apoderado, quien deberá poder probar este extremo con la presentación del correspondiente poder acreditativo.

3.2. Documentación del Contrato

Formarán parte integrante del contrato:

- El contrato firmado por las partes.
- El pliego de condiciones.

- Las aclaraciones emitidas por el Promotor durante la fase del Concurso.
- La resolución de adjudicación.
- La oferta adjudicada.

3.3. Formalización del Contrato

Resuelta la adjudicación y notificado formalmente, el Contratista Adjudicatario deberá comparecer ante el promotor dentro de los 5 días hábiles para suscribir el pertinente contrato sin opción a prórroga.

3.4. Gastos e impuestos

Todos los gastos e impuestos de cualquier orden que por disposición del Estado, Provincia o Municipio se deriven del contrato, y estén vigentes en la fecha de la firma del mismo, serán por cuenta del Contratista, con excepción del IVA.

Las modificaciones tributarias establecidas con posterioridad al contrato afectarán al sujeto pasivo directo, sin que las partes puedan repercutirlas entre sí. En ningún caso podrá ser causa de revisión de precios la modificación del sistema tributario vigente a la firma del contrato.

3.5. Fianzas provisional, definitiva y fondo de garantía

- Fianza Provisional.

La fianza provisional del mantenimiento de las ofertas se constituirá por los contratistas ofertantes por la cantidad que se fije en las bases de licitación. Esta fianza se depositará al tomar parte en el concurso y se hará en efectivo. Por lo que a plazo de mantenimiento, alcance de la fianza y devolución de la misma se refiere, se estará a lo establecido en los apartados 2.6 y 2.11 del presente Pliego General.

- Fianza Definitiva.

A la firma del contrato, el Contratista deberá constituir la fianza definitiva por un importe igual al 5% del Presupuesto Total de Adjudicación.

En cualquier caso el Promotor se reserva el derecho de modificar el anterior porcentaje, estableciendo previamente en las bases del concurso el importe de esta fianza. La fianza se constituirá en efectivo o por Aval Bancario realizable a satisfacción del Promotor. En el caso de que el Aval Bancario sea prestado por varios Bancos, todos ellos quedarán obligados solidariamente con el Promotor y con renuncia expresa a los beneficios de división y exclusión.

El modelo de Aval Bancario será facilitado por el Promotor debiendo ajustarse obligatoriamente el Contratista a dicho modelo. La fianza tendrá carácter de irrevocable desde el momento de la firma del contrato, hasta la liquidación final de los trabajos y será devuelta una vez realizada. Dicha liquidación seguirá a la recepción definitiva de los equipos y componentes, que tendrá lugar una vez transcurrido el plazo de garantía a partir de la fecha de la recepción provisional. Esta fianza inicial responde del cumplimiento de todas las obligaciones del contratista, y quedará a beneficio del Promotor en los casos de abandono del trabajo o de rescisión por causa imputable al Contratista.

- Fondo de garantía.

Independientemente de esta fianza, el Promotor retendrá el 5% de las certificaciones semanales, que se irán acumulando hasta constituir un fondo de garantía.

Este fondo de garantía responderá de los defectos de ejecución o de la mala calidad de los materiales, suministrados por el Contratista, pudiendo el Promotor realizar con cargo a esta cuenta las reparaciones necesarias, en caso de que el Contratista no ejecutase por su cuenta y cargo dicha reparación.

Este fondo de garantía se devolverá, una vez deducidos los importes a que pudiese dar lugar el párrafo anterior, a la recepción definitiva de las obras.

3.6. Aprobación y vigencia del Contrato

El contrato será aprobado mediante resolución del Promotor, adquiriendo plena validez y eficacia jurídica a partir de su notificación fehaciente al Contratista Adjudicatario, sin perjuicio de la fecha de comienzo efectivo de las prestaciones.

3.7. Incomparecencia del contratista

Si el Contratista Adjudicatario no compareciera a suscribir el contrato, o no constituyera la fianza definitiva del mismo ni cumpliera con las demás obligaciones exigidas dentro del plazo establecido, se dejará sin efecto la adjudicación, notificándolo por escrito a todos los licitadores, y se ejecutará automáticamente la garantía de mantenimiento de oferta. El promotor podrá emitir una nueva resolución de adjudicación, haciendo recaer la misma en la oferta que hubiese quedado en segundo lugar en orden de mérito.

Si el Promotor desistiera de suscribir el contrato, tal situación no creará derecho alguno a favor del Contratista Adjudicatario.

3.8. Cesión del Contrato

No se admitirá la cesión total del contrato ni la asociación por decisión unilateral del Contratista Adjudicatario con terceros, con posterioridad a la adjudicación o a la firma del contrato, bajo pena de quedar sin efecto aquélla o de rescindir el contrato, según corresponda, y en todos los casos con las consecuencias legales que ello implique.

Solamente podrá admitirse la cesión total del contrato, cuando concurren, a exclusivo criterio del Promotor, causas que lo justifiquen; debiendo en tales casos aprobarlo él mismo mediante resolución.

Si el Promotor autorizase la cesión total del contrato, lo que en tal caso sería hasta completar el plazo contractual, se deberán cumplir los siguientes requisitos:

- El cesionario deberá acreditar todos y cada uno de los requisitos exigidos al cedente, conforme a las disposiciones de la documentación contractual original.

- Se suscribirá un convenio entre el Promotor y el cesionario, con el acuerdo del cedente, por el cual se transfieren todos los derechos y obligaciones emergentes del contrato, manteniendo plena validez todos los documentos del contrato original, incluidos el pliego y todas las modificaciones y condiciones eventualmente acordadas entre las partes con posterioridad a aquél.
- El cesionario deberá cumplimentar la presentación de todos los requisitos establecidos para los licitadores en el momento del llamado a concurso.
- El cesionario deberá constituir las garantías en idénticas condiciones y con iguales características a la garantía de cumplimiento del contrato, según lo especificado en el apartado 'Fianza definitiva'.
- Subsistirá la responsabilidad solidaria del cedente por todas las obligaciones inherentes al contrato.
- El cedente, previo a la cesión, deberá abonar al Promotor un derecho que se denomina "Derecho de Cesión", el que será equivalente al cincuenta por ciento (50%) del valor de la fianza definitiva.

A fin de asegurar la homogeneidad, coherencia, correlación y unidad conceptual de las tareas a ejecutar por el contratista, no se admitirá, bajo ningún concepto, la cesión parcial del contrato.

3.9. Asociación de contratistas

Si las tareas licitadas se adjudicasen en común a un grupo o asociación de contratistas, la responsabilidad será conjunta y solidaria, en relación al compromiso contraído por el grupo o asociación.

Los componentes del grupo o asociación delegarán en uno de ellos, a todos los efectos, la representación ante el Promotor. Esta delegación se realizará por medio de un representante responsable provisto de poderes, tan amplios como proceda, para actuar ante el Promotor en nombre del grupo o asociación.

La designación de representante, para surtir efecto, deberá ser aceptada y aprobada por el Promotor por escrito.

3.10. Subcontratistas

El Contratista podrá subcontratar o destajar cualquier parte de la ejecución de los trabajos, previa autorización del promotor, para lo cual deberá informar con anterioridad a éste del alcance y condiciones técnico-económicas del Subcontrato mencionado.

El Promotor podrá, en cualquier momento, requerir del Contratista la exclusión de un Subcontratista por considerar al mismo incompetente, o que no reúne las necesarias condiciones, debiendo el Contratista tomar las medidas necesarias para la rescisión de este Subcontrato, sin que por ello pueda presentar reclamación alguna al Promotor.

En ningún caso podrá deducirse relación contractual alguna entre los Subcontratistas o destajistas y el Promotor, como consecuencia de la ejecución por aquellos de trabajos parciales correspondientes al Contrato principal, siendo siempre responsable el Contratista ante el Promotor de todas las actividades del Subcontratista y de las obligaciones derivadas del cumplimiento de las condiciones expresadas en este Pliego.

Los trabajos específicos que requieran una determinada especialización y que no estuviesen incluidos en el Presupuesto del Contrato, bien porque aún estando previstos en la Memoria y/o Planos de Concurso, no se hubiese solicitado para ellos oferta económica, bien porque su necesidad surgiese a posteriori durante la ejecución del Contrato, podrán ser adjudicados por el Promotor directamente a la Empresa que libremente elija, debiendo el Contratista prestar las ayudas necesarias para la realización de los mismos.

3.11. Relaciones entre el promotor y el contratista y entre los diversos contratistas y subcontratistas.

El Contratista está obligado a suministrar, en todo momento, cualquier información relativa a la realización del contrato, de la que el Promotor juzgue necesario tener conocimiento. Entre otras razones por la posible incidencia de los

trabajos confiados al Contratista, sobre los de otros Contratistas y suministradores.

El Contratista debe ponerse oportunamente en relación con los demás contratistas y suministradores, a medida que estos sean designados por el Promotor, con el fin de adoptar de común acuerdo las medidas pertinentes para asegurar la coordinación de los trabajos, el buen orden de la obra, y la seguridad de los trabajadores.

Cuando varios contratistas y suministradores utilicen las instalaciones generales pertenecientes a uno de ellos, se pondrán de acuerdo sobre su uso suplementario y el reparto de los gastos correspondientes.

El Promotor deberá estar permanentemente informado de los acuerdos tomados al amparo del párrafo anterior, para en el caso de presentarse dificultades o diferencias, tomar la resolución que proceda, o designar el árbitro a quien haya de someterse dichas diferencias. La decisión del árbitro designado por el Promotor es obligatoria para los interesados. En ningún caso el Promotor deberá encontrarse durante los trabajos, en presencia de una situación de hecho que tuviese lugar por falta de información por parte del Contratista.

Cuando varios contratistas trabajen en la ejecución de las tareas, cada uno de ellos es responsable de los daños y perjuicios de toda clase que pudiera derivarse de su propia actuación.

3.12. Domicilios y representaciones.

El Contratista está obligado, antes de iniciarse la ejecución de las tareas objeto del contrato, a facilitar un domicilio, dando cuenta al Promotor del lugar de ese domicilio.

Seguidamente a la notificación del contrato, el Promotor comunicará al Contratista su domicilio a efectos de la ejecución del contrato, así como nombre de su representante.

Antes de iniciarse las obras objeto del contrato, el Contratista designará su representante en la ejecución de las tareas y se lo comunicará por escrito al Promotor especificando

sus poderes, que deberán ser lo suficientemente amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la representación del Promotor. En ningún caso constituirá motivo de excusa para el Contratista la ausencia de su representante.

El Contratista está obligado a presentar a la representación del Promotor antes de la iniciación de los trabajos, una relación comprensiva del personal facultativo responsable de la ejecución de las tareas contratadas y a dar cuenta posteriormente de los cambios que en el mismo se efectúen, durante la vigencia del contrato.

La designación del representante del Contratista, así como la del personal facultativo, responsable de la ejecución de las tareas contratadas, requiere la conformidad y aprobación del Promotor quien por motivo fundado podrá exigir al Contratista la remoción de su representante y la de cualquier facultativo responsable.

4. Obligaciones del contratista

4.1. Obligaciones contables

El Contratista deberá llevar y conservar los libros y documentos relativos al contrato y mantenerlos a disposición del Promotor durante toda la vigencia del mismo y hasta los 6 meses posteriores a su vencimiento y el de las eventuales prórrogas acordadas.

4.2. Cumplimiento de la legislación laboral y de seguridad

El Contratista deberá cumplir con todas las leyes laborales, provisionales e impositivas, convenios colectivos de trabajo vigentes, como así también con toda otra disposición que pudiera ser de aplicación a los trabajos que desarrolle.

Deberá mantener al día el pago de los impuestos, del personal empleado (cualquiera sea su nivel o jerarquía), abonar íntegramente los honorarios, salarios y jornales estipulados,

ingresando los aportes provisionales y demás cargas sociales que correspondan. Así mismo deberá cumplimentar las reglamentaciones y pagos de aranceles que para la actividad desarrollada pueda corresponder, de acuerdo a la legislación vigente en la materia, a los Consejos o Colegios Profesionales, incluyendo la inscripción de los mismos.

El Contratista deberá dar estricto cumplimiento a lo estipulado por la ley nacional y europea de higiene y seguridad en el trabajo.

Será responsabilidad del Contratista el pago de multas, recargos, intereses, etc., originados por infracciones a las leyes, decretos, ordenanzas, reglamentos y demás normas vigentes, por las que fuera responsable como consecuencia de su condición de contratista y de empleador.

4.3. Seguros

El Contratista será responsable de cualquier accidente que ocurra al personal profesional, técnico, obrero o administrativo, que realice o inspeccione trabajos para aquél, en el lugar o en tránsito, correspondiéndole en consecuencia, las obligaciones que establecen las leyes nacionales y europeas.

A los efectos precedentemente indicados, el Contratista deberá mantener en vigencia y cancelar a su cargo todos los seguros especificados en el punto siguiente 4.4.

Se considerará falta grave del Contratista tener sin cobertura cualquiera de los riesgos indicados, por lo que en caso de incumplimiento, el Promotor podrá proceder a la contratación de los seguros con cargo al contratista, independientemente de la aplicación de las sanciones que pudieran corresponder.

El Promotor deberá aprobar las pólizas y la entidad aseguradora ofrecida, previo a que aquéllas entren en vigencia, para lo cual el Contratista deberá someterlas a su consideración, previo a suscribir los contratos de seguros respectivos.

Todas las pólizas deben contener cláusulas de ajuste automático de las sumas aseguradas. También deberán contener

una cláusula por la cual la entidad aseguradora asume el compromiso de no reducir ni alterar las condiciones de cobertura sin consentimiento previo y fehaciente del promotor.

Cuando corresponda, dichas pólizas deberán ser endosadas a favor del promotor.

4.4. Coberturas a tomar

Los seguros que el Contratista deberá tomar a su cargo cubrirán los siguientes riesgos:

- Responsabilidad del contratista como empleado.
 - o Muerte e incapacidad permanente, total o parcial, de todo el personal afectado a los fines del contrato, en un todo de acuerdo a las obligaciones emergentes de la normativa legal vigente.
 - o La indemnización prevista en de la Ley de Contrato de Trabajo.
 - o Seguro contra terceros afectados por el contratista durante los trabajos.

4.5. Obligaciones en materia de seguridad

El Contratista estará obligado al cumplimiento de las disposiciones vigentes en materia laboral, de seguridad social y de seguridad e higiene en el trabajo.

En lo referente a las obligaciones del Contratista en materia de seguridad e higiene en el trabajo, estas quedan detalladas de la forma siguiente:

- El Contratista es responsable de las condiciones de seguridad e higiene en los trabajos, estando obligado a adoptar y hacer aplicar, a su costa, las disposiciones vigentes sobre estas materias, en las medidas que dicte la Inspección de Trabajo y demás organismos competentes, así como las normas de seguridad complementarias que correspondan a las características de las obras contratadas.

- A tal efecto el Contratista debe establecer un Plan de Seguridad, Higiene y Primeros Auxilios que especifique con claridad las medidas prácticas que, para la consecución de las precedentes prescripciones, estime necesario tomar en la obra. Este Plan debe precisar las formas de aplicación de las medidas que correspondan a los riesgos de la obra con el objeto de asegurar eficazmente:

- La seguridad de su propio personal, y de terceros.
- La higiene y primeros auxilios a enfermos y accidentados.
- La seguridad de las instalaciones.

El Plan de Seguridad así concebido debe comprender la aplicación de las Normas de Seguridad que el Contratista prescribe a sus empleados cuando realizan trabajos similares a los encomendados al personal del Contratista.

El Plan de Seguridad, Higiene y Primeros Auxilios deberá ser comunicado al Promotor, en el plazo máximo de tres meses a partir de la firma del contrato. El incumplimiento de este plazo puede ser motivo de resolución del contrato.

La adopción de cualquier modificación o aplicación al plan previamente establecido, a razón de la variación de las circunstancias de la obra, deberá ser puesta inmediatamente en conocimiento del Promotor.

- Los gastos originados por la adopción de las medidas de seguridad, higiene y primeros auxilios son a cargo del Contratista y se considerarán incluidos en los precios del contrato. Quedan comprendidas en estas medidas, sin que su enumeración las limite:
- La formación del personal en sus distintos niveles profesionales en materia de seguridad, higiene y primeros auxilios, así como la información al mismo mediante carteles, avisos o señales de los distintos riesgos que la obra presente.
 - El mantenimiento del orden, limpieza, comodidad y seguridad en las superficies o lugares de trabajo, así como en los accesos a aquellos.

- Las protecciones y dispositivos de seguridad en las instalaciones, aparatos y máquinas, almacenes, etc., incluida la protección contra incendios.
 - El establecimiento de las medidas encaminadas a la eliminación de factores nocivos, tales como polvos, humos, gases, vapores, ruidos, temperatura, humedad, y aireación e iluminación deficientes...
 - Suministro de todos los elementos de protección personal necesarios, así como de las instalaciones sanitarias, botiquines, ambulancias, que las circunstancias hagan igualmente necesarias. Además, el Contratista debe proveer de vestuarios, servicios higiénicos, servicio de comedor y menaje, barracones, suministro de agua, etc., que las características de las tareas y la reglamentación determinen.
- Si se produjera una Asociación de Contratistas, éstos deberán agruparse en el seno de un Comité de Seguridad, formado por los representantes de los Contratistas, Comité que tendrá por misión coordinar las medidas de seguridad, higiene y primeros auxilios, tanto a nivel individual como colectivo. De esta forma, cada contratista debe designar un representante responsable ante el Comité de Seguridad. Las decisiones adoptadas por el Comité se aplicarán a todas los contratistas, incluso a los que lleguen con posterioridad a la ejecución de las tareas.

Los gastos resultantes de esta organización colectiva se prorratearán mensualmente entre las empresas participantes, proporcionalmente al número de jornales, horas de trabajo de sus trabajadores, o por cualquier otro método establecido de común acuerdo.

El Contratista remitirá al Promotor, con fines de información, copia de cada declaración de accidente que cause baja en el trabajo, inmediatamente después de formalizar la dicha baja.

El incumplimiento de estas obligaciones por parte del Contratista o la infracción de las disposiciones sobre seguridad por parte del personal técnico designado por él, no implicará responsabilidad alguna para el Promotor.

4.6. Sustitución del personal

- A solicitud del Promotor.

El Promotor podrá exigir con causa fundada, la sustitución o separación de cualquiera de las personas que integren el equipo. En tales casos, todos los gastos emergentes serán por cuenta del Contratista.

En los casos que, en virtud de lo anterior, corresponda la sustitución de personal, el contratista deberá cumplimentar los requisitos atinentes establecidos en el numeral siguiente.

- A solicitud del Contratista.

La sustitución de cualquier persona que integra el equipo profesional sólo podrá ocurrir cuando se produzcan causas debidamente fundadas. La propuesta de sustitución se efectuará por nota dirigida al Promotor, la cual contendrá:

- Curriculum vitae actualizado del nuevo profesional propuesto.
- Actividades específicas a desarrollar.
- Compromiso de participación debidamente firmado por el profesional propuesto.
- Cuando corresponda, la pertinente habilitación expedida por el Colegio Profesional correspondiente.
- Efecto que produce la sustitución sobre la ejecución de las tareas.
- Constancia de aceptación del profesional reemplazado de su sustitución.

La incorporación del profesional propuesto a los equipos de trabajo, sólo podrá hacerse efectiva una vez

que el Promotor haya otorgado la aprobación correspondiente.

La ocurrencia de las situaciones contempladas en el presente artículo, no podrán dar lugar, bajo ningún concepto, a la disminución del ritmo del cumplimiento de las obligaciones, ni dejar en ningún momento áreas específicas sin cubrir.

4.7. Rescisión del contrato

Cuando a juicio del Promotor el incumplimiento por parte del Contratista de alguna de las cláusulas del Contrato pudiera ocasionar graves trastornos en la ejecución de las tareas, cumplimiento de los plazos, o en el aspecto económico, el Promotor podrá decidir la resolución del Contrato, con las penalidades a que hubiera lugar. Así mismo, podrá proceder la resolución con pérdida de fianza y garantía suplementaria si la hubiera, de producirse alguno de los supuestos siguientes:

- Cuando no se hubiera aportado los medios relacionados en la oferta o su equivalente o capacidad en los plazos previstos incrementados en un 25%, o si el Contratista hubiese sustituido dichos medios en sus elementos principales sin la previa autorización del Promotor.
- Cuando se cumpla el plazo final de las tareas y falte por ejecutar más del 20% de las tareas. La imposición de las multas establecidas por los retrasos sobre dicho plazo, no obligará al Promotor a la prórroga del mismo, siendo potestativo por su parte elegir entre la resolución o la continuidad del Contrato.

Será así mismo causa suficiente para la rescisión, alguno de los hechos siguientes:

- La quiebra, fallecimiento o incapacidad del Contratista. En este caso, el Promotor podrá optar por la resolución del Contrato, o por que se subroguen en el lugar del Contratista los síndicos de la quiebra o sus representantes.

- La disolución, por cualquier causa, de la sociedad, si el Contratista fuera una persona jurídica.
- Si el Contratista es una agrupación temporal de empresas y alguna de las integrantes se encuentra incluida en alguno de los supuestos previstos en alguno de los dos apartados anteriores, el Promotor estará facultado para exigir el cumplimiento de las obligaciones pendientes del Contrato a las restantes empresas que constituyen la agrupación temporal o para acordar la resolución del Contrato. Si el Promotor optara en ese momento por la rescisión, esta no producirá pérdida de la fianza, salvo que concurriera alguna otra causa suficiente para declarar tal pérdida.

Procederá así mismo la rescisión, sin pérdida de fianza por el Contratista, cuando se suspendan las tareas una vez comenzadas, y en todo caso, siempre que por causas ajenas al Contratista, no sea posible dar comienzo a las tareas adjudicadas, en el plazo de 3 meses, a partir de la fecha de adjudicación.

En el caso de que se incurriese en las causas de resolución del Contrato conforme a las cláusulas de este Pliego de Condiciones Generales, el Promotor se hará cargo de las obras en la situación en que se encuentren, sin otro requisito que el del levantamiento de un Acta Notarial o simple, si ambas partes prestan su conformidad, que refleje la situación de las tareas, así como de acopios de materiales, maquinaria y medios auxiliares que el Contratista tuviese en ese momento en el emplazamiento de los trabajos. Con este acto del Promotor el Contratista no podrá poner interdicto ni ninguna otra acción judicial, a la que renuncie expresamente.

Siempre y cuando el motivo de la rescisión sea imputable al Contratista, este se obliga a dejar a disposición del Promotor hasta la total terminación de los trabajos, la maquinaria y medios auxiliares existentes en la ejecución de las tareas que el Promotor estime necesario, pudiendo el Contratista retirar los restantes. El Promotor abonará por los medios, instalaciones y máquinas que decida deben continuar en obra, un alquiler igual al estipulado en el baremo para trabajos por administración, pero descontando los

porcentajes de gastos generales y beneficio industrial del Contratista.

El Contratista se compromete como obligación subsidiaria de la cláusula anterior, a conservar la propiedad de las instalaciones, medios auxiliares y maquinaria seleccionada por el Promotor o reconocer como obligación preferente frente a terceros, la derivada de dicha condición.

El Promotor comunicará al Contratista, con 30 días de anticipación, la fecha en que desea reintegrar los elementos que venía utilizando, los cuales dejará de devengar interés alguno a partir de su devolución, o a los 30 días de la notificación, si el Contratista no se hubiese hecho cargo de ellos. En todo caso, en la devolución se realizarán siempre por cuenta del Contratista los gastos de su traslado definitivo.

En los contratos rescindidos, se procederá a efectos de garantías, fianzas, etc. a efectuar las recepciones provisionales y definitivas de todos los trabajos ejecutados por el Contratista hasta la fecha de la rescisión.

5. Condiciones económicas y legales

5.1. Gastos de carácter general por cuenta del contratista

Se entienden como tales los gastos de cualquier clase ocasionados por los ensayos de materiales que deba realizar por su cuenta el Contratista; oficinas y almacenes pertenecientes al Contratista; equipos necesarios para la evitación de accidentes de cualquier clase; los de protección de materiales y las propias tareas contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los reglamentos vigentes; los de limpieza de los espacios interiores y exteriores; los de retirada al fin de las tareas de herramientas, materiales, etc.

Salvo que se indique lo contrario, será de cuenta del Contratista el suministro de la energía eléctrica necesaria para la ejecución de las tareas.

Serán de cuenta del Contratista los gastos ocasionados por la retirada del lugar de ejecución de las tareas, de los materiales rechazados, los de jornales y materiales para las

mediciones periódicas para la redacción de certificaciones y los ocasionados por la medición final; los de pruebas, ensayos, reconocimientos y tomas de muestras para la recepción definitiva, del equipo; la corrección de las deficiencias observadas en las pruebas, ensayos, etc., y los gastos derivados de los asientos o averías, accidentes o daños que se produzcan en estas pruebas y la reparación y conservación de las obras durante el plazo de garantía.

Además de los ensayos a los que se refieren los párrafos anteriores de este artículo, serán por cuenta del Contratista los ensayos que realice directamente con los materiales suministrados por sus proveedores antes de su adquisición e incorporación a la obra y que en su momento serán controlados por el Promotor para su aceptación definitiva. Serán asimismo de su cuenta aquellos ensayos que el Contratista realice durante la ejecución de los trabajos, para su propio control.

En los casos de resolución del Contrato, cualquiera que sea la causa que lo motive, serán de cuenta del Contratista los gastos de jornales y materiales ocasionados por la liquidación de las obras y los de las Actas Notariales que sean necesarias levantar, así como los de retirada de los medios auxiliares que no utilice el Promotor o que le devuelva después de utilizados.

5.2. Gastos de carácter general por cuenta del promotor

Serán por cuenta del Promotor los gastos originados por la inspección de las obras del personal del Promotor o contratados para este fin, la comprobación o revisión de las certificaciones, la toma de muestras y ensayos de laboratorio para la comprobación periódica de calidad de materiales y obras realizadas, salvo los indicados en el apartado 5.1., y el transporte de los materiales suministrados por el Promotor, hasta el almacén del Contratista, sin incluir su descarga ni los gastos de paralización de vehículos por retrasos en la misma.

5.3. Indemnizaciones por cuenta del contratista

Será por cuenta del Contratista la reparación de cualquier daño que pueda ocasionar sus instalaciones y construcciones auxiliares en propiedades particulares, los producidos en las

demás operaciones realizadas por el Contratista para la ejecución de las tareas.

5.4. Partidas para tareas accesorias

Las cantidades calculadas para tareas accesorias, que por su escasa o nula definición, figuren en el presupuesto con una partida alzada, no se abonará por su cantidad total, salvo así que se indique.

En consecuencia estas obras accesorias se abonarán a los precios unitarios del Contrato y conforme a las unidades y medidas que se obtengan de los proyectos que se realicen para ellas y de su medición final.

5.5. Partidas alzadas

Las partidas alzadas consignadas en los presupuestos para obras o servicios, y que expresamente así se indique en el Pliego de Condiciones Particulares, se abonarán por su importe una vez realizados totalmente dichos trabajos.

Quedan excluidas de este sistema de abono, las obras accesorias que se liquidarán conforme a lo indicado en el punto anterior, 5.4.

5.6. Revisiones de precios

El Promotor adopta para las revisiones de los precios el sistema de fórmulas polinómicas vigentes para las obras del Estado y Organismos Autónomos, establecido por el Decreto-Ley 2/1964 de 4 de febrero (B.O.E. de 6- 11-64), especialmente en lo que a su artículo 4o se refiere.

Se establecerán la fórmula o fórmulas polinómicas a emplear, adoptando de entre todas las reseñadas en el Decreto-Ley 3650/1970 de 19 de diciembre (B.O.E. 29-12-70) la que más se ajuste a las características de la obra contratada.

Si estas características así lo aconsejan, el Promotor se reserva el derecho de establecer nuevas fórmulas, modificando los coeficientes o las variables de las mismas.

Para los valores actualizados de las variables que inciden en la fórmula, se tomarán para cada mes los que faciliten el Ministerio de Hacienda una vez publicados en el B.O.E. Los valores iniciales corresponderán a los del mes de la fecha del Contrato.

El índice de revisión mensual se aplicará al importe total de la certificación correspondiente al mes de que se trate, siempre y cuando la tarea realizada durante dicho periodo, lo haya sido dentro del programa de trabajo establecido.

En el caso de que las obras se desarrollen con retraso respecto a dicho programa, las certificaciones mensuales producidas dentro del plazo se revisarán por los correspondientes índices de revisión hasta el mes previsto para la terminación de los trabajos. En este momento, dejarán de actualizarse dicho índice y todas las certificaciones posteriores que puedan producirse, se revisarán con este índice constante.

Los aumentos de presupuesto originados por las revisiones de precios oficiales, no se computarán a efectos de lo establecido en el punto 6.1., "Modificaciones del proyecto".

Si las tareas a realizar fuesen de corta duración, el Promotor podrá prescindir de la cláusula de revisión de precios, debiéndolo hacer constar así expresamente en las bases del Concurso.

5.7. Régimen de intervención

Cuando el Contratista no de cumplimiento, sea a las obligaciones o disposiciones del Contrato, sea a las órdenes de servicio que les sean dadas por el Promotor, éste le requerirá a cumplir este requisito de órdenes en un plazo determinado, que, salvo en casos de urgencia, no será nunca menor de 10 días a partir de la notificación de requerimiento.

Pasado este plazo, si el Contratista no ha ejecutado las disposiciones dadas, el Promotor podrá ordenar a título provisional el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial por cuenta del Contratista.

Se procederá, en presencia del Contratista, o habiéndole convocado, a la comprobación de las tareas ejecutadas, de los materiales acopiados así como al inventario descriptivo del material del Contratista, y a la devolución a este de la parte de

materiales que no utilizará el Promotor para la terminación de los trabajos.

El Promotor tiene por otra parte la facultad, sea de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso, en principio sobre petición de ofertas, por cuenta y riesgo del Contratista incumplidor, sea de ejercitar el derecho de rescisión pura y simple del Contrato, sea de prescribir la continuación de la intervención.

Durante el periodo de régimen de intervención, el Contratista podrá conocer la marcha de los trabajos, sin que pueda, de ninguna manera, entorpecer o dificultar las órdenes del Promotor.

El Contratista podrá, por otra parte, ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos y llevarlos a buen fin.

Los excedentes de gastos que resulten de la intervención o del nuevo contrato serán deducidos de las sumas, que puedan ser debidas al Contratista, sin perjuicios de los derechos a ejercer contra él en caso de ser insuficientes.

Si la intervención o el nuevo contrato supone, por el contrario una disminución de gastos, el Contratista no podrá pretender beneficiarse en ninguna parte de la diferencia, que quedará a favor del Promotor.

5.8. Informes

De cada uno de los informes que se produzcan por parte del Contratista en cumplimiento de sus obligaciones contractuales, así como de la documentación de respaldo anexa a los mismos, se confeccionarán dos ejemplares, redactados en idioma español. Las unidades de medida utilizadas en los informes deberán ser las del Sistema Internacional de Unidades y las hojas a emplear para los informes deberán ser de tamaño DIN A4.

Cada Informe deberá presentarse acompañado de su soporte magnético en disquetes de 3,5", debidamente identificado y fechado. Para el soporte de textos se utilizará la última versión de Word; para plantilla de datos, cálculos y gráficos resultantes, la última versión de Excel; para bases de datos, Access en su última Versión; para Administración de Proyectos Microsoft Project y para planos el Programa Autocad en versión 14 o mayor. Todo ello sin perjuicio de los programas computacionales desarrollados

o utilizados al efecto, y que previamente hayan sido aprobados por el Promotor.

Cada informe que presente el Contratista deberá ser autosuficiente, evitando al máximo las referencias a otros informes y, por lo tanto, permitir que el Promotor pueda verificar, analizar y evaluar integralmente su contenido, sin necesidad de tener que recurrir a otros documentos o informaciones adicionales. El Promotor rechazará los informes que no respondan a estas condiciones.

5.9. Revisión de los informes

El Promotor revisará, analizará, evaluará y, en caso de encontrarlos conformes a las normas contenidas en la documentación contractual, aceptará los informes y demás documentación de respaldo a sus tareas que entregue al contratista durante la vigencia del contrato.

5.10. Certificación de las presentaciones

El Promotor emitirá un informe de evaluación de las tareas ejecutadas por el Contratista. En caso de que su evaluación concluya, en el sentido que las funciones del contratista hubiesen sido cumplidas en forma satisfactoria por el mismo en el período considerado y se ajustan a las normas contenidas en la documentación contractual, se dará curso a la factura de pago correspondiente.

5.11. Confección de las facturas de pago

El Contratista presentará las facturas de pago a la comisión, para cuya confección utilizará formularios previamente aprobados y que se ajusten a las disposiciones vigentes en la materia. Para tales facturas se considerará como fecha de emisión, la del día hábil posterior al de finalización del periodo al que corresponden las prestaciones liquidadas.

5.12. Pago de los certificados

El pago de las facturas o certificados semanales se efectuará dentro de los 30 días contados desde el primer día posterior a su fecha de emisión. En caso de producirse demora en el pago, será de aplicación lo estipulado en el Derecho español.

5.13. Propiedad industrial, comercial e intelectual

Al suscribir el Contrato, el Contratista garantiza al Promotor contra toda clase de reivindicaciones que se refieran a suministros y materiales, procedimientos y medios utilizados para la ejecución de las tareas y que procedan de titulares de patentes, licencias, planos, modelos, marcas de fábrica o comercio.

En el caso de que fuera necesario, corresponde al Contratista la obtención de las licencias o a utilizaciones precisas y soportar la carga de los derechos e indemnizaciones correspondientes.

En caso de acciones dirigidas contra el Promotor por terceros titulares de licencias, autorizaciones, planos, modelos, marcas de fábrica o de comercio utilizadas por el Contratista para la ejecución de los trabajos, el Contratista responderá ante el Promotor del resultado de dichas acciones estando obligado además a prestarle su plena ayuda en el ejercicio de las excepciones que competan al Promotor.

La propiedad intelectual del contenido de todos los informes presentados por el Contratista en lo que hace a los estudios, cálculos, recomendaciones, conclusiones y demás trabajos propios de los profesionales de aquélla, será exclusiva del Promotor, quien podrá disponer libremente de los mismos. El Contratista sólo podrá invocarlos como antecedentes de su propia labor.

5.14. Tribunales

El Contratista renuncia al fuero de su propio domicilio y se compromete a sustanciar cuantas reclamaciones origine el Contrato ante los tribunales.

6. Desarrollo de las tareas, condiciones técnico-sanitarias

6.1. Modificaciones del Proyecto

El Promotor podrá introducir en el proyecto, antes de empezar las tareas o durante su ejecución, las modificaciones que sean precisas para la normal ejecución de las mismas, aunque no se hayan previsto en el proyecto y siempre que no varíen las características principales de las tareas.

También podrá introducir aquellas modificaciones que produzcan aumento o disminución y aún supresión de las unidades de obra marcadas en el presupuesto.

Cuando se trate de aclarar o interpretar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos o dibujos, las órdenes o instrucciones se comunicarán exclusivamente por escrito al Contratista, estando obligado éste a su vez a devolver una copia suscribiendo con su firma el enterado.

Todas estas modificaciones serán obligatorias para el Contratista, y siempre que, a los precios del Contrato, sin ulteriores omisiones, no alteren el Presupuesto total de ejecución Material contratado en más de un 35%, tanto en más como en menos, el Contratista no tendrá derecho a ninguna variación en los precios ni a indemnización de ninguna clase.

Si la cuantía total de la certificación final, correspondiente a la obra ejecutada por el Contratista, fuese a causa de las modificaciones del Proyecto, inferior al presupuesto total de ejecución material del contrato en un porcentaje superior al 35%, el Contratista tendrá derecho a indemnizaciones.

Para fijar su cuantía, el Contratista deberá presentar al Promotor en el plazo máximo de 2 meses a partir de la fecha de dicha certificación final, una petición de indemnización con las justificaciones necesarias debido a los posibles aumentos de los gastos generales e insuficiente amortización de equipos e instalaciones, y en la que se valore el perjuicio que le resulte de las modificaciones introducidas en las previsiones del Proyecto. Al efectuar esta valoración el Contratista deberá tener en cuenta que el primer 35% de reducción no tendrá repercusión a estos efectos.

Si por el contrario, la cuantía de la certificación final, correspondiente a la obra ejecutada por el Contratista, fuese, a causa de las modificaciones del Proyecto, superior al presupuesto

total de ejecución material del contrato y cualquiera que fuere el porcentaje de aumento, no procederá el pago de ninguna indemnización ni revisión de precios por este concepto.

No se admitirán mejoras de tareas más que en el caso de que el Promotor haya ordenado por escrito, la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados.

Tampoco se admitirán aumentos de tareas en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, o salvo que el Promotor ordene también por escrito la ampliación de las contratadas. Se seguirá el mismo criterio y procedimiento, cuando se quieran introducir innovaciones que supongan una reducción apreciable en las unidades de obra contratadas.

6.2. Modificaciones de los planos

Los planos de construcción podrán modificar a los provisionales de concurso, respetando los principios esenciales y el Contratista no puede por ello hacer reclamación alguna al Promotor.

El carácter complejo y los plazos limitados de que se dispone en la ejecución de un Proyecto, obligan a una simultaneidad entre las entregas de las especificaciones técnicas de los suministradores de equipos y la elaboración de planos definitivos de Proyecto.

El Promotor tomará las medidas necesarias para que estas modificaciones no alteren los planes de trabajo del Contratista entregando los planos con la suficiente antelación para que la preparación y ejecución de estos trabajos se realice de acuerdo con el programa previsto.

El Contratista por su parte no podrá alegar desconocimiento de estas definiciones de detalle, no incluidas en el proyecto base, y que quedará obligado a su ejecución dentro de las prescripciones generales del Contrato.

El Contratista deberá confrontar, inmediatamente después de recibidos, todos los planos que le hayan sido facilitados, debiendo informar por escrito al Promotor en el plazo máximo de 15 días y antes de proceder a su ejecución, de cualquier contradicción, error u omisión que lo exigiera técnicamente incorrectos.

6.3. Empleo de materiales nuevos pertenecientes al promotor

Cuando fuera de las previsiones del Contrato, el Promotor juzgue conveniente emplear materiales y equipos nuevos que le pertenezcan, el Contratista no podrá oponerse a ello y las condiciones que regulen este suministro serán establecidas de común acuerdo o, en su defecto, se establecerá mediante Arbitraje de Derecho Privado.

6.4. Uso anticipativo del equipo o componentes

El Promotor se reserva el derecho de hacer uso de los componentes o del equipo terminado de las tareas contratadas, antes de que los trabajos prescritos en el contrato se hayan terminado en su totalidad, bien por necesidades de servicio, bien para permitir la realización de otros trabajos que no forman parte del contrato.

Si el Promotor deseara hacer uso del citado derecho, se lo comunicará al Contratista con una semana de antelación a la fecha de utilización. El uso de este derecho por parte del Promotor no implica recepción provisional del equipo afectado.

6.5. Plan de trabajo y montaje

Independientemente del plan de trabajos que los Contratistas ofertantes deben presentar con sus ofertas, de acuerdo al "Plan de obra detallado" del presente pliego, el Contratista presentará con posterioridad a la firma del Contrato, un plan más detallado que el anterior.

El plazo máximo a partir de la formalización del Contrato, en el que debe presentarlo y tipo de programa exigido queda establecido en un mes.

Este Plan, que deberá ser lo más completo, detallado y razonado posible, respetará obligatoriamente los plazos fijados en el Concurso, y deberá venir acompañado del programa de certificaciones mensuales.

En el caso de que el Contratista, decidiera proponer un adelanto en alguno de los plazos fijados, deberá hacerlo como una variante suplementaria, justificando expresamente en este caso todas las repercusiones económicas a que diese lugar.

El Plan de Trabajo deberá ser aprobado oficialmente por el Promotor, adquiriendo desde este momento el carácter de documento contractual. No podrá ser modificado sin autorización expresa del Promotor, y el Contratista estará obligado a respetarlo en el desarrollo de los trabajos.

En caso de desacuerdo sobre el Plan de Trabajo, una vez rechazado por el Promotor, se someterá la controversia a arbitraje, siendo desempeñado por un profesional competente, designado por el Colegio Profesional correspondiente.

Los medios ofrecidos, que han de ser como mínimo los de la propuesta inicial, salvo que el promotor, a la vista del Plan de Trabajo, autorice otra cosa, quedarán afectos a la obra y no podrán ser retirados o sustituidos.

La aceptación del Plan y relación de medios auxiliares propuestos por el Contratista no implica exención alguna de responsabilidad para él mismo en el caso de incumplimiento de los plazos parciales, o final convenido.

Si el desarrollo de los trabajos no se efectuase de acuerdo al Plan aprobado y ello pudiera dar lugar al incumplimiento de plazos parciales o final, el Promotor podrá exigir del Contratista la actualización del Plan vigente, reforzando las plantillas de personal, medios auxiliares e instalaciones necesarias a efectos de mantener los plazos convenidos y sin que el Contratista pueda hacer recaer sobre el Promotor las repercusiones económicas que este aumento de medios puede traer consigo. El Plan de Trabajo actualizado sustituirá a todos los efectos contractuales al anteriormente vigente, con la salvedad que se indica en el párrafo siguiente.

En cualquier caso, la aceptación por parte del Promotor de los Planes de Trabajo actualizados que se vayan confeccionando para adecuar el desarrollo real de los trabajos al mantenimiento de los plazos iniciales, no liberará al Contratista de las posibles responsabilidades económicas en que incurra por el posible incumplimiento de los plazos convenidos.

6.6. Plazos de ejecución

En el Pliego de Condiciones Particulares, se establecen los plazos parciales y plazo final de terminación, a los que el Contratista deberá ajustarse obligatoriamente.

Los plazos parciales corresponderán a la fabricación, adquisición o terminación de determinados elementos, tareas o conjuntos de tareas, que se consideren necesarios para la prosecución de otras fases del montaje.

6.7. Retenciones por retrasos durante la ejecución de trabajos

Los retrasos sobre el plan de trabajo y programa de certificaciones imputables al Contratista, tendrán como sanción económica para cada mes la retención por el Promotor, con abono a una cuenta especial denominada "Retenciones", del 50% de la diferencia entre el 90% de la tarea que hasta ese momento debería haberse justificado y la que realmente se haya realizado.

Si el Contratista realizase tareas con valor superior a lo establecido en el Plan de Trabajos para cada momento, tendrá derecho a recuperar de la cuenta de "Retenciones" la parte proporcional que le corresponda.

Cuando se alcance el plazo total previsto para la ejecución del trabajo con un saldo acreedor en la cuenta de "Retenciones" quedará éste bloqueado a disposición del Promotor para responder de las posibles multas y sanciones correspondientes a una posible rescisión. En el momento de la total terminación y liquidación de las tareas contratadas, se procederá a saldar esta cuenta abonando al Contratista el saldo acreedor si lo hubiere o exigiéndole el deudor si así resultase.

6.8. Incumplimientos de los plazos y multas

En el caso de incumplimiento de los plazos fijados por causas directamente imputables al Contratista, satisfará éste las multas que se indiquen en el Pliego Particular, con cargo a las certificaciones, fondo de retenciones o fianza definitiva, sucesivamente, sin perjuicio de la responsabilidad por daños.

Si el retraso producido en el cumplimiento de los plazos ocasionara a su vez retrasos en otros contratistas, lesionando los intereses de estos, el Promotor podrá hacer repercutir sobre el Contratista las indemnizaciones a que hubiera lugar por tales perjuicios.

En el caso de que los retrasos se produzcan por causas imputables al Promotor en los suministros a que venga obligado,

se prorrogarán los plazos en un tiempo igual al estimado por el Promotor como retraso producido, de acuerdo con lo establecido en el apartado 6.12.

6.9. Supresión de las multas

Cuando el Promotor advierta la posibilidad de que un retraso en la ejecución de las obras o en el montaje, no va a repercutir en la entrega final ni causar perjuicios a terceros, podrá acordar libremente la supresión de multas, o la ampliación de los plazos de ejecución.

En este último caso, el Promotor podrá diferir a la nueva fecha de terminación, y en el supuesto de que ésta tampoco se cumpla, la aplicación de las multas establecidas.

6.10. Procedimiento para la aplicación de multas

A los fines de la aplicación de las multas que se establecen en el Pliego y en el Contrato, se considerará producido el hecho por el solo incumplimiento de las cláusulas contractuales que dan origen a la aplicación de las mismas. El importe de la penalidad será exigible y cobrable sin necesidad de interpelación extrajudicial o judicial previa, produciéndose la mora en forma automática por el solo vencimiento del plazo concedido para su cancelación.

En todos los casos en que corresponda la aplicación de multas, las mismas serán dispuestas por resolución del Promotor y notificadas al Contratista. La cantidad resultante será pagada por el Contratista en un plazo de 10 días contados a partir de la fecha de su notificación.

Vencido el plazo de pago, el Promotor podrá deducir las cantidades impagadas más sus intereses moratorios, de cualquier crédito que tenga a su favor el Contratista, a cuyo fin los importes originados en penalidades, cualquiera sea su origen, se consideran de plazo vencido, líquidos y exigibles.

En especial las multas podrán deducirse de los pagos de cualquier tipo que tenga a cobrar el Contratista o de las fianzas constituidas de acuerdo a las disposiciones contractuales, a cuyo efecto se deberá disponer los mecanismos o la redacción necesaria para que ello pueda efectivizarse de manera

automática. Cada vez que se produzca una reducción en la cantidad de las fianzas por deducción de multas, el contratista deberá reintegrar la cantidad original de las mismas, dentro de los 10 días de efectivizada la deducción.

Las multas, una vez aplicadas, serán deducidas en forma automática, sin perjuicio de las presentaciones recurriendo las mismas que el Contratista pueda efectuar mediante la correspondiente nota dirigida al Promotor. Si se diese curso favorable a alguna solicitud de reconsideración, el importe descontado le será reintegrado mediante un certificado especial, sin ningún tipo de intereses.

6.11. Premios y primas

Se podrán establecer premios en el caso de cumplimiento de los plazos parciales y total contratados y/o un sistema de primas para premiar los posibles adelantos sobre dichos plazos de terminación de obras.

En el Pliego Particular, se especificarán las condiciones que deberán concurrir para que el Contratista pueda obtener dichos premios y/o primas.

El Promotor podrá supeditar el pago de los premios, siempre que así lo indique expresamente, al cumplimiento estricto de los plazos, incluso en el caso de retrasos producidos por causas no imputables al Contratista o de fuerza mayor.

6.12. Retrasos ocasionados por el promotor

Los retrasos que pudieran ocasionar la falta de planos, demoras en el suministro de materiales que deba realizar por el Promotor, o interferencias ocasionadas por otros Contratistas, serán valorados en tiempo por el Promotor, después de oír al Contratista, prorrogándose los plazos conforme a la valoración.

Para efectuar ésta, el Promotor tendrá en cuenta la influencia sobre la parte de las tareas realmente afectada, y la posibilidad de adelantar la ejecución de tareas cuya realización estuviese prevista para fecha posterior.

6.13. Daños y ampliación del plazo en caso de fuerza mayor

Cuando se produjeran daños en las tareas por causa de fuerza mayor, si su prevención o minoración hubiera correspondido a las partes, la que hubiese sido negligente soportará sus consecuencias.

Si fuese por completo ajena a la actuación del Contratista el riesgo sobre la tarea ejecutada, será soportado por el Promotor en cuanto a las unidades de que se hubiese hecho previa medición, según se determina en el punto 6.15.

Si por causa de fuerza mayor no imputable al Contratista hubiese de sufrir demora el curso de las tareas, lo pondrá en conocimiento del Promotor con la mayor prontitud posible, concretando el tiempo en que estima necesario prorrogar los plazos establecidos, el Promotor deberá manifestar su conformidad o reparos a la procedencia y alcance de la prórroga propuesta en un plazo igual al que hubiese mediado entre el hecho originario y la comunicación del Contratista.

6.14. Mediciones de las tareas ejecutadas

Servirán de base para la medición y posterior abono de las obras los datos contractuales de presupuestos parciales y totales.

Las mediciones con los datos recogidos de los elementos cualitativos que caracterizan las tareas ejecutadas, los acopios realizados, o los suministros efectuados, constituyen comprobación de un cierto estado de hecho y se recogerán por el Promotor en presencia del Contratista. La ausencia del Contratista, aún habiendo sido avisado previamente, supone su conformidad a los datos recogidos por el Promotor.

En caso de presencia del Contratista las mediciones serán avaladas con la firma de ambas partes.

El Contratista no podrá dejar de firmar las mediciones. En caso de negarse a hacerlo, podrá levantarse acta notarial a su cargo. Si las firmara con reservas, dispondrá de un plazo de 10 días a partir de la fecha de redacción de las mismas para formular por escrito sus observaciones. Pasado ese plazo, las mediciones se suponen aceptadas sin reserva alguna. En el caso de la firma con reserva, se redactará un acta en la que se hará constar los

motivos de disconformidad, acta que se unirá a la correspondiente medición.

En el caso de reclamación del Contratista las mediciones se tomarán a petición propia o por iniciativa del Promotor, sin que estas comprobaciones prejuzguen, en ningún caso, el reconocimiento de que las reclamaciones están bien fundamentadas.

El Contratista está obligado a exigir a su debido tiempo la toma contradictoria de mediciones para los trabajos, prestaciones y suministros que no fueran susceptibles de comprobación o de verificaciones ulteriores, a falta de lo cual, salvo pruebas contrarias que deben proporcionar a su costa, prevalecerán las decisiones del Promotor con todas sus consecuencias.

6.15. Certificación y abono de las tareas

- Las tareas se medirán periódicamente sobre las partes realmente ejecutadas con arreglo al Proyecto, modificaciones posteriores y órdenes del Promotor, y de acuerdo con los artículos del Pliego de Condiciones.

La medición de la tarea realizada se llevará a cabo en los dos primeros días siguientes a la fecha de cierre de certificaciones. Dicha fecha se determinará al comienzo de las obras.

Las valoraciones efectuadas servirán para la redacción de certificaciones al origen, de las cuales se tendrá el líquido de abono. Corresponderá al Promotor en todo caso, la redacción de las certificaciones periódicas.

- Las certificaciones y abonos de los equipos y componentes, no suponen aprobación ni recepción de los mismos.
- Las certificaciones periódicas se deben entender siempre como abonos a buena cuenta, y en consecuencia, las mediciones de unidades de obra y los precios aplicados no tienen el carácter de definitivos, pudiendo surgir modificaciones en certificaciones posteriores y definitivamente en la liquidación final.

- Si el Contratista rehusase firmar un certificado semanal o lo hiciese con reservas por no estar conforme con ella, deberá exponer por escrito y en el plazo máximo de dos días, a partir de la fecha de que se le requiera para la firma, los motivos que fundamenten su reclamación e importe de la misma. El Promotor considerará esta reclamación y decidirá si procede atenderla. Los retrasos en el cobro, que pudieran producirse como consecuencia de esta dilación en los trámites de la certificación, no se computarán a efectos de plazo de cobro ni de abono de intereses de demora.
- Terminado el plazo de dos días, señalado en el epígrafe anterior, o si hubiesen variado las tareas en forma tal que les fuera imposible recomprobar la medición objeto de discusión, se considerará que la certificación es correcta, no admitiéndose posteriormente reclamación alguna en tal sentido.
- Tanto en las certificaciones, como en la liquidación final, las obras serán en todo caso abonadas a los precios que para cada unidad de obra figuren en la oferta aceptada, o a los precios contradictorios fijados en el transcurso de la obra, de acuerdo con lo provisto a continuación.
- Los precios de las tareas, así como los de los materiales, maquinaria y mano de obra que no figuren entre los contratados, se fijarán contradictoriamente entre el Promotor y el Contratista, o su representante expresamente autorizado a estos efectos. Estos precios deberán ser presentados por el Contratistas debidamente descompuestos, conforme a lo establecido en el apartado 3.4 del presente Pliego.

El Promotor podrá exigir para su comprobación la presentación de los documentos necesarios que justifique la descomposición del precio presentado por el Contratista. La negociación del precio contradictorio será independiente de la ejecución de la unidad de obra de que se trate, viniendo obligado el Contratista a realizarla, una vez recibida la orden correspondiente. A falta de acuerdo, se certificará provisionalmente a base de los precios establecidos por el Promotor.

- Cuando circunstancias especiales hagan imposible el establecer nuevos precios, o así le convenga al Promotor, corresponderá exclusivamente a éste la decisión de abonar estos trabajos en régimen de administración, aplicando los baremos de mano de obra, materiales y maquinaria, aprobados en el Contrato.
- Cuando así lo admita expresamente el Pliego de Condiciones Particulares, o el Promotor acceda a la petición en este sentido formulada por el Contratista, podrá certificarse a cuenta de acopios de materiales en la cuantía que determine dicho Pliego, o en su defecto la que estime oportuno el Promotor.

Las cantidades abonadas a cuenta por este concepto se deducirán de la certificación de la unidad de obra correspondiente, cuando dichos materiales pasen a formar parte de la tarea ejecutada.

En la liquidación final no podrán existir abonos por acopios, ya que los excesos de materiales serán siempre por cuenta del Contratista.

El abono de cantidades a cuenta en concepto de acopio de materiales no presupondrá, en ningún caso, la aceptación en cuanto a la calidad y demás especificaciones técnicas de dicho material, cuya comprobación se realizará en el momento de su puesta en obra.

- Del importe de la certificación se retraerá el porcentaje fijado en el apartado de este Pliego General para la constitución del fondo de garantía.
- Las certificaciones por revisión de precios, se redactarán independientemente de las certificaciones mensuales de obra ejecutada, ajustándose a las normas establecidas en el apartado 6.6 de este Pliego General.

6.16. Abono de unidades incompletas o defectuosas

El Promotor determinará si las unidades que han sido realizadas en forma incompleta o defectuosa, deben rehacerse o no. Caso de rehacerse el Contratista vendrá obligado a

ejecutarlas, siendo de su cuenta y cargo dicha reparación, en el caso de que ya le hubiesen sido abonadas. De no haberlo sido, se certificará la obra como realizada una sola vez.

Cuando existan trabajos defectuosos o incompletos que el Promotor considere, que a pesar de ello puedan ser aceptables para el fin previsto, se abonarán teniendo en cuenta la depreciación correspondiente a las deficiencias observadas.

En lo referente a resistencias, densidades, grados de acabado, tolerancias en dimensiones, etc. Se podrá hacer una proporcionalidad con las obtenidas, siempre que sean admisibles, o bien fijar de entrada una depreciación en los precios de un 10% para obras defectuosas pero aceptables.

6.17. Informe final

Previo a la finalización de la relación contractual o de suscripción de la prórroga del contrato, lo que ocurra antes, el contratista deberá presentar:

- Informe final global.
- Informe final de cada tarea.

6.18. Acta de finalización de las prestaciones

Una vez aprobado el informe final por parte del Promotor se procederá a elaborar el acta de finalización de las prestaciones. En el acta de finalización de las prestaciones, se deberá dejarse constancia de:

- Fecha en que se elabora.
- Listado e índice del informe, de la documentación de respaldo y del soporte computacional, que el contratista haya entregado.
- Constancia de las modificaciones, ampliaciones o supresiones producidas en el transcurso de la ejecución de las prestaciones, si hubieren existido.
- Constancia expresa que las prestaciones fueron ejecutadas de acuerdo con lo establecido en la documentación contractual.

- Constancia de las multas impuestas al contratista por mora u otros motivos, si hubiesen existido.

6.19. Recepción provisional de los equipos

A partir del momento en que todas las tareas que le han sido encomendadas, hayan sido terminadas, el Contratista lo pondrá en conocimiento del Promotor, mediante carta certificada con acuso de recibo.

El Promotor procederá entonces a la recepción provisional de los equipos y de los componentes, habiendo convocado previamente al Contratista mediante notificación escrita con acuso de recibo, al menos con 5 días de anticipación. Si el Contratista no acude a la convocatoria, se hará mención de su ausencia en el Acta de Recepción.

Del resultado del reconocimiento de los equipos, se levantará un Acta de Recepción en la que se hará constar el estado final de los mismos así como las deficiencias que pudieran observarse. El Acta será firmada conjuntamente por el Contratista y el Promotor.

Si el reconocimiento de los equipos fuera satisfactorio se recibirá provisionalmente los mismos, empezando a contar desde esta fecha el plazo de garantía. Si por el contrario se observara deficiencias y no procediese efectuar la recepción provisional, se concederá al Contratista un plazo breve para que corrija los defectos observados, transcurrido el cual deberá procederse a un nuevo reconocimiento.

Si transcurrido el plazo concedido al Contratista, no se hubieran subsanado dichos defectos, el Promotor podrá proceder a su realización, bien directamente, bien por medio de otros contratistas, con cargo al fondo de garantía y si este no bastase, con cargo a la fianza definitiva.

Una vez terminados los trabajos de reparación, se procederá a recibir provisionalmente los equipos y componentes.

6.20. Plazo de garantía

Una vez terminadas totalmente la ejecución de las tareas, se efectuará la recepción provisional de las mismas, tal como se indica en el artículo 6.19, a partir de cuyo momento comenzará a contar el plazo de garantía, al final del cual se llevará a cabo la recepción definitiva.

Durante este plazo, será de cuenta del Contratista la conservación y reparación de los equipos, así como todos los desperfectos que pudiesen ocurrir en los mismos, desde la terminación de éstos, hasta que se efectúe la recepción definitiva, excepción hecha de los daños que se deriven del mal trato o uso inadecuado de las obras por parte del Promotor.

Si el Contratista incumpliese lo estipulado en el párrafo anterior, el Promotor podrá encargar a terceros la realización de dichos trabajos o ejecutarlos directamente por administración, deduciendo su importe del fondo de garantía y si no bastase, de la fianza definitiva, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el Promotor en el caso de que el monto del fondo de garantía y de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos realizados en dichos trabajos de reparación.

6.21. Recepción definitiva de los equipos

Una vez transcurrido el plazo de garantía se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras de un modo análogo al indicado en el punto 6.19 para la recepción provisional.

En el caso de que hubiese sido necesario conceder un plazo para subsanar los defectos hallados, el Contratista no tendrá derecho a cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía, debiendo continuar encargado de la conservación de las obras durante esa ampliación.

Si el equipo presentase con posterioridad a la recepción definitiva defectos de cualquier tipo debidos a incumplimiento doloso del Contrato por parte del Contratista, responderá éste de los daños y perjuicios en el término de 2 años.

Transcurrido este plazo, quedará totalmente extinguida la responsabilidad del Contratista.

6.22. Liquidación

Una vez efectuada la recepción provisional se procederá a la medición general de las tareas que han de servir de base para la valoración de las mismas.

La liquidación se llevará a cabo después de la recepción definitiva, saldando las diferencias existentes por los abonos a cuenta y descontando el importe de las reparaciones u obras de conservación que haya habido necesidad de efectuar durante el plazo de garantía, en el caso de que el Contratista no las haya realizado por su cuenta.

Después de realizada la liquidación, se saldarán el fondo de garantía y la fianza definitiva, tanto si ésta última se ha constituido Aval Bancario.

También se liquidará, si existe, la cuenta especial de retenciones por retrasos durante la ejecución de las tareas.

CAPÍTULO 3. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

1. Especificación de materiales

Las características y requisitos que debe cumplir los aceros inoxidables usados en la fabricación de los componentes del sistema son, a temperatura ambiente y 1 atm de presión:

❖ Acero inoxidable AISI 316L:

- Composición: C 0,03% máx., Mn 2,00% máx., Mo 2,00-3,00, Si 1,00%, Cr 16,0-18,0%, Ni 10,0-14,0%.
- Propiedades físicas
 - Densidad: 7,96 g/cm³.
 - Punto de fusión: 1.370-1.400 °C
- Propiedades eléctricas:
 - Resistividad eléctrica (20°C): 70-78 μOhm·cm
- Propiedades mecánicas:
 - Módulo de elasticidad: 190-210 GPa
 - Resistencia a la tracción: 460-860 MPa
 - Dureza: Brinell:160-190.
 - Alargamiento (%): <60.
 - Impacto Izod:20-136 J/m

❖ Acero inoxidable AISI 304L:

- Composición: C 0,03% máx., Mn 1,50% máx., Si 1,00%, Cr 17,0-21,0%, Ni 8,00-12,0%,
- Propiedades físicas:
 - Densidad: 7,93 g/cm³.
 - Punto de fusión: 1.400-1.455 °C
- Propiedades eléctricas:
 - Resistividad eléctrica (20°C): 70-72 □Ohm·cm
- Propiedades mecánicas:

- Módulo de elasticidad: 190-210 GPa
- Resistencia a la tracción: 460-1.100 MPa
- Dureza: Brinell: 160-190.
- Alargamiento (%): <60.
- Impacto Izod: 20-136 J/m

❖ PVC (Policloruro de Vinilo):

- Descripción general: Termoplástico industrial amorfo que puede ser transparente e incoloro pero se encuentra más comúnmente pigmentado. Es rígido, duro y naturalmente retardante a la combustión con una resistencia química relativamente buena (los solventes son su punto débil particularmente para la rotura bajo carga). Tiene buenas propiedades de protección y resistencia a los rayos UV pero un intervalo de temperatura operacional limitado (quebradizo a 5C - temperatura máxima de utilización continua : 50C)
- Resistencia_Química:
 - Ácidos – concentrados: Aceptable.
 - Ácidos – diluidos: Buena.
 - Alcalis: Buena.
 - Alcoholes: Aceptable.
 - Cetonas: Mala.
 - Grasas y aceites: Aceptable.
 - Halógenos: Aceptable.
 - Hidrocarburos aromáticos: Mala.
- Propiedades físicas:
 - Absorción de agua en 24 horas (%): 0,03-0,4.
 - Densidad (g/cm³): 1,4.
 - Índice refractario: 1,54.
 - Índice de Oxígeno Límite (%): 42

- Inflamabilidad: Auto extinguiBLE.
- Resistencia a los ultravioletas: Buena.
- Propiedades mecánicas:
 - Alargamiento a la rotura(%): 60
 - Dureza Rockwell: R106-120
 - Módulo de tracción (GPa): 2,5-4,0.
 - Resistencia a la tracción (MPa): 25-70
 - Resistencia al Impacto Izod (J/m): 20-1.000
- ❖ PVDF (Polifluoruro de Vinilideno): Termoplástico industrial blanco, semicristalino, caro, transformable por fusión. Su resistencia química y térmica es buena así como su resistencia a la abrasión y a la radiación. Es algo más rígido y duro que la mayoría de los fluoropolímeros (transformables) pero tiene pérdidas dieléctricas.
 - Resistencia Química:
 - Ácidos – concentrados: Buena
 - Ácidos – diluidos: Buena.
 - Alkalís: Buena.
 - Alcoholes: Buena.
 - Cetonas: Mala.
 - Grasas y aceites: Buena.
 - Halógenos: Buena.
 - Hidrocarburos aromáticos: Aceptable.
 - Propiedades físicas:
 - Absorción de agua en 24 horas (%): 0,04.
 - Densidad (g/cm³): 1,76.
 - Índice refractario: 1,42.
 - Índice de Oxígeno Límite (%): 44
 - Resistencia a los ultravioletas: Buena.
 - Resistencia a la radiación Beta: Buena.

- Resistencia a la radiación Gamma: Buena.
- Propiedades mecánicas:
 - Alargamiento a la rotura(%): 50
 - Coeficiente de fricción: 0,2-0,4
 - Dureza Rockwell: R77-83
 - Módulo de tracción (GPa): 1,0-3,0.
 - Relación de Poisson: 0,34.
 - Resistencia a la tracción (MPa): 25-60.
 - Resistencia al Impacto Izod (J/m): 120-320.
 - Resistencia a la abrasión – ASTM D1044 (mg/1.000 ciclos): 24.

❖ Silicona

- Descripción general: Elastómero sintético.
- Resistencia Química:
 - Ácidos – concentrados: Aceptable.
 - Ácidos – diluidos: Buena.
 - Alcalis Aceptable.
 - Alcoholes: Aceptable.
 - Cetonas: Aceptable.
 - Grasas y aceites: Buena.
 - Halógenos: Mala.
 - Hidrocarburos aromáticos: Mala.
- Propiedades físicas:
 - Densidad (g/cm^3): 1,1 -1,5.
- Propiedades mecánicas:
 - Dureza Rockwell: 60 grados Shore A.
 - Módulo de tracción (GPa): 6,5
- Propiedades térmicas:
 - Calor específico ($\text{J/k}\cdot\text{kg}$): 1.300 – 1.500.
 - Temperatura máxima de utilización ($^{\circ}\text{C}$): 200 - 260.

- Temperatura mínima de utilización (°C): -70 a -50.

❖ Cobre:

- Propiedades físicas:
 - Densidad: 8,96 g/cm³.
 - Punto de fusión: 1.083 °C.
 - Punto de ebullición: 2567 °C.
- Propiedades eléctricas:
 - Resistividad eléctrica (20°C): 1,69 \square Ohm·cm
- Propiedades mecánicas:
 - Módulo de elasticidad: 128 GPa.
 - Límite elástico: 71 MPa.
 - Resistencia a la tracción: 212 MPa
 - Alargamiento: 51%.
 - Coeficiente de Poisson: 0,344
 - Dureza Izod: 68 J/m.
 - Dureza Vickers: 68.

❖ Norprene (A-60-F): Termoplástico, de categoría alimentaria, combina vida larga en bombas peristálticas con la resistencia a la temperatura. Puede ser esterilizada hasta cinco veces sin afectar su funcionamiento total. Es de instalación fácil debido a su flexibilidad.

- Resistencia Química
 - Ácidos – débiles: Excelente.
 - Ácidos – fuertes: Buena.
 - Bases débiles: Excelente.
 - Bases fuertes: Aceptable.
 - Ozono: Excelente.
 - Luz ultravioleta: Buena.
- Propiedades mecánicas:

- Límite elástico: 1.000 MPa.
- Resistencia a la tracción: 212 MPa.
- Alargamiento: 375%.

2. Realización de las tareas

2.1. Piezas de catálogo

Las piezas que pueden adquirirse directamente de catálogo son las siguientes:

- ❖ Bridas de vacío NW 40.
- ❖ Bridas de vacío de 20" O.D. (DN500CF).
- ❖ Fondo ciego del fermentador (Brida ciega de 20" O.D.)

2.2. Válvulas, bombas y elementos de control

Estos elementos incluyen:

- ❖ Válvulas manuales ON/OFF de dos vías.
- ❖ Electroválvulas ON/OFF de dos vías.
- ❖ Bombas peristálticas
- ❖ Sensor de temperatura.
- ❖ Sensores de nivel.
- ❖ Controlador de temperatura.
- ❖ Controladores de nivel.

Estos elementos deberán reunir las características técnicas y dimensionales indicadas en la Memoria Descriptiva (apartados 15.2 y 15.3 del capítulo 6 y, en los apartados 1, 2 y 3 del capítulo 8).

2.3. Depósito de almacenamiento de vino

Este depósito debe estar construido íntegramente en acero inoxidable AISI 304L, incluidas las 4 patas de soporte y todos los accesorios soldados, embridados o empotrados.

La descripción del equipo se puede ver en el capítulo 6, apartado 5 de la memoria descriptiva de este proyecto.

Las patas de apoyo estarán constituidas por cuatro perfiles angulares de 70x70x10 mm, igualmente espaciadas sobre el perímetro del recipiente. Estos perfiles irán soldados a placas cuadrangulares de 120x10 mm, fijándose al suelo el conjunto mediante pernos de anclaje de 20 mm de diámetro. Los taladros, de 26 mm de diámetro, se situarán a 40 mm del borde de la placa.

La longitud de la soldadura entre las patas y el depósito de almacenamiento de vino, por encima de la línea de tangencia será de 150 mm, realizando una muesca en los angulares para salvar la línea de soldadura del depósito.

❖ Accesorios del depósito de vino

- Tubo indicador de nivel. Un tubo de PVC transparente graduado, gracias al cual se podrá conocer el nivel aproximado del equipo a cada momento.
- Grifo de nivel inferior en acero inoxidable AISI 304 que estará equipado con un toma-muestras, de 8 mm de diámetro.
- Boca de hombre situada en la carcasa cilíndrica, para las tareas de inspección y mantenimiento. Estará constituida por una puerta autoclave ovalada de dimensión 410x510 mm, con espesor de pared de 10 mm. La puerta estará fabricada en acero inoxidable AISI 304L, con acabado *Pulido* según DIN 1.4404, y la junta será de

EPDM. El centro geométrico de la puerta se ubicará a 1043 mm del fondo del depósito (ver Plano N°5). La puerta podrá ser marca *BOYER tipo P11-410-510* o similar.

- Conducción de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno.
- Conducción de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno.

❖ Pruebas y análisis que debe superar el depósito de almacenamiento de vino.

- Pruebas hidráulicas.

- Pruebas en los talleres del fabricante que se realizará con el recipiente en su posición de fabricación si no fuera posible realizarla en su posición de operación.

Se llenará el fermentador de agua y se someterá a una presión de $5,5 \text{ kg/cm}^2$, manteniendo esta presión el tiempo necesario para examinar el aparato y observar si existen fugas o se producen deformaciones y si éstas son permanentes.

Antes de realizar las pruebas de presión se comprobará que los aparatos de medida y protección que han de utilizarse para las mismas cumplen las prescripciones reglamentarias. Para estos ensayos es imprescindible que estén al descubierto y sin pintura todas las chapas y juntas. Las pruebas serán efectuadas por el departamento de Control de Calidad del fabricante o por alguna Entidad colaboradora, quedando en todo caso, constancia de las mismas.

- Pruebas iniciales en el lugar de emplazamiento. Podrá volver a realizarse una prueba hidrostática (descrita en el apartado anterior) si, por haber sufrido alguna anomalía en el transporte o por

alguna otra razón, el instalador así lo estima. Esta prueba se realizará en todo caso si no hubiese sido llevada a cabo por alguna razón en los talleres del fabricante.

El depósito deberá ser inspeccionado en el lugar de emplazamiento, y comprobarse que reúne las condiciones reglamentarias y que la instalación se ha realizado de acuerdo con lo estipulado en este Proyecto.

Se realizará una prueba de funcionamiento, durante la cual se examinará el depósito, se regularán las válvulas de seguridad y se precintarán los órganos de regulación en la posición que corresponda. Si durante la prueba de funcionamiento se observasen irregularidades que pudieran dar lugar a averías o causar daños a personas o bienes, se interrumpirá inmediatamente el funcionamiento del equipo. La prueba deberá repetirse tan pronto se hayan corregido las causas que dieron lugar a las anomalías observadas.

Si por algún motivo el equipo cambiase de emplazamiento definitivo, deberá someterse a lo dispuesto en este apartado.

- Pruebas periódicas, de acuerdo al Reglamento de Aparatos a Presión. Se realizarán a la presión de $4,55 \text{ kg/cm}^2$, de acuerdo a lo estipulado en el citado Reglamento.

- Análisis vibratorios.

No será necesario someter al fermentador a estos ensayos, dado que su altura es inferior a 30 metros.

2.4. Fermentador

El fermentador debe estar construido íntegramente en acero inoxidable AISI 316L, incluidas las 4 patas de soporte y todos los accesorios soldados, embridados o empotrados.

La descripción del equipo, así como el sistema de sustentación del serpentín interno y el sistema de unión de las bridas, se pueden ver en el capítulo 6, apartado 6 de la memoria descriptiva de este proyecto.

Las patas de apoyo estarán constituidas por cuatro patas de tipo L 70x70x9 mm, igualmente espaciadas sobre el perímetro del recipiente. Estos perfiles irán soldados a placas cuadrangulares de 120x10 mm, fijándose al suelo el conjunto mediante pernos de anclaje de 20 mm de diámetro. Los taladros, de 26 mm de diámetro, se situarán a 40 mm del borde de la placa.

La longitud de la soldadura entre las patas y el fermentador, por encima de la línea de tangencia será de 150 mm, realizando una muesca en los angulares para salvar la línea de soldadura del fermentador.

❖ Accesorios del fermentador

- Tubo indicador de nivel. Un tubo de PVC transparente graduado, gracias al cual se podrá conocer el nivel aproximado del equipo a cada momento.
- Grifo de nivel inferior en acero inoxidable AISI 304 que estará equipado con un toma-muestras, de 8 mm de diámetro.
- Mirilla con objeto de comprobar el correcto funcionamiento. La mirilla, según DIN 28121 PN 16/25, con doble cristal de seguridad, será de 60 mm de diámetro.

- Conducción de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno.
- Conducción de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno.
- Conducción de entrada y salida del agua de refrigeración de 24 mm de diámetro interno.

❖ Pruebas y análisis que debe superar el fermentador

Será de aplicación todo lo dicho en el aparato "*Pruebas y análisis que debe superar el depósito de almacenamiento de vino*", y sin perjuicio de lo anterior, se cumplirá con todo lo expuesto en el código ASME VIII, Div. 1 y en el Reglamento de Aparatos a Presión y las Instrucciones Técnicas Complementarias de aplicación en cada caso.

2.5. Equipo de microfiltración

Las especificaciones técnicas de los distintos componentes del equipo de microfiltración se detallan en la memoria descriptiva, capítulo 6, apartado 10.

2.6. Depósito de almacenamiento de mosto

Este depósito debe estar construido íntegramente en acero inoxidable AISI 316L, incluidas las 4 patas de soporte y todos los accesorios soldados, embridados o empotrados.

La descripción del equipo se puede ver en el capítulo 6, apartado 2 de la memoria descriptiva de este proyecto.

Las patas de apoyo estarán constituidas por cuatro perfiles angulares de 80x80x10 mm, igualmente espaciadas sobre

el perímetro del recipiente. Estos perfiles irán soldados a placas cuadrangulares de 150x12 mm, fijándose al suelo el conjunto mediante pernos de anclaje de 20 mm de diámetro. Los taladros, de 26 mm de diámetro, se situarán a 45 mm del borde de la placa.

La longitud de la soldadura entre las patas y el depósito de almacenamiento de mosto, por encima de la línea de tangencia será de 150 mm, realizando una muesca en los angulares para salvar la línea de soldadura del depósito.

- ❖ Accesorios del depósito de almacenamiento de mosto
 - Tubo indicador de nivel. Un tubo de PVC transparente graduado, gracias al cual se podrá conocer el nivel aproximado del equipo a cada momento.
 - Grifo de nivel inferior en acero inoxidable AISI 316 que estará equipado con un toma-muestras, de 8 mm de diámetro.
 - Boca de hombre situada en la carcasa cilíndrica, para las tareas de inspección y mantenimiento. Estará constituida por una puerta autoclave ovalada de dimensión 410×510 mm, con espesor de pared de 10 mm. La puerta estará fabricada en acero inoxidable AISI 316L, con acabado *Pulido* según DIN 1.4404, y la junta será de EPDM. El centro geométrico de la puerta se ubicará a 1434,5 mm del fondo del depósito (ver Plano N°6). La puerta podrá ser marca *BOYER tipo P11-410-510* o similar.
 - Conducción de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno.
 - Conducción de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno.

- ❖ Pruebas y análisis que debe superar el depósito de almacenamiento de mosto.

Será de aplicación todo lo dicho en el aparato "*Pruebas y análisis que debe superar el depósito de almacenamiento de vino*", y sin perjuicio de lo anterior, se cumplirá con todo lo expuesto en el código ASME VIII, Div. 1 y en el Reglamento de Aparatos a Presión y las Instrucciones Técnicas Complementarias de aplicación en cada caso.

2.7. Depósito de almacenamiento de mosto concentrado

Este depósito debe estar construido íntegramente en acero inoxidable AISI 316L, incluidas las 4 patas de soporte y todos los accesorios soldados, embridados o empotrados.

La descripción del equipo se puede ver en el capítulo 6, apartado 4 de la memoria descriptiva de este proyecto.

Las patas de apoyo estarán constituidas por cuatro perfiles angulares de 80x80x10 mm, igualmente espaciadas sobre el perímetro del recipiente. Estos perfiles irán soldados a placas cuadrangulares de 150x12 mm, fijándose al suelo el conjunto mediante pernos de anclaje de 20 mm de diámetro. Los taladros, de 26 mm de diámetro, se situarán a 45 mm del borde de la placa.

La longitud de la soldadura entre las patas y el depósito de almacenamiento de mosto concentrado, por encima de la línea de tangencia será de 150 mm, realizando una muesca en los angulares para salvar la línea de soldadura del depósito.

- ❖ Accesorios del depósito de almacenamiento de mosto concentrado.
 - Tubo indicador de nivel. Un tubo de PVC transparente graduado, gracias al cual se podrá conocer el nivel aproximado del equipo a cada momento.

- Grifo de nivel inferior en acero inoxidable AISI 316 que estará equipado con un toma-muestras, de 8 mm de diámetro.
- Boca de hombre situada en la carcasa cilíndrica, para las tareas de inspección y mantenimiento. Estará constituida por una puerta autoclave ovalada de dimensión 410×510 mm, con espesor de pared de 10 mm. La puerta estará fabricada en acero inoxidable AISI 316L, con acabado *Pulido* según DIN 1.4404, y la junta será de EPDM. El centro geométrico de la puerta se ubicará a 1220 mm del fondo del depósito (ver Plano N°7). La puerta podrá ser marca *BOYER tipo P11-410-510* o similar.
- Conducción de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno.
- Dos conducciones de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno.

- ❖ Pruebas y análisis que debe superar el depósito de almacenamiento de mosto concentrado.

Será de aplicación todo lo dicho en el aparato "*Pruebas y análisis que debe superar el depósito de almacenamiento de vino*", y sin perjuicio de lo anterior, se cumplirá con todo lo expuesto en el código ASME VIII, Div. 1 y en el Reglamento de Aparatos a Presión y las Instrucciones Técnicas Complementarias de aplicación en cada caso.

2.8. Mezclador 1

Este depósito debe estar construido íntegramente en acero inoxidable AISI 316L, incluidas las 4 patas de soporte y todos los accesorios soldados, embridados o empotrados.

La descripción del equipo se puede ver en el capítulo 6, apartado 11 de la memoria descriptiva de este proyecto.

Las patas de apoyo estarán constituidas por cuatro perfiles angulares de 80x80x10 mm, igualmente espaciadas sobre el perímetro del recipiente. Estos perfiles irán soldados a placas cuadrangulares de 150x12 mm, fijándose al suelo el conjunto mediante pernos de anclaje de 20 mm de diámetro. Los taladros, de 26 mm de diámetro, se situarán a 45 mm del borde de la placa.

La longitud de la soldadura entre las patas y el mezclador 1, por encima de la línea de tangencia será de 150 mm, realizando una muesca en los angulares para salvar la línea de soldadura del mezclador.

❖ Accesorios del mezclador 1.

- Tubo indicador de nivel. Un tubo de PVC transparente graduado, gracias al cual se podrá conocer el nivel aproximado del equipo a cada momento.
- Grifo de nivel inferior en acero inoxidable AISI 316 que estará equipado con un toma-muestras, de 8 mm de diámetro.
- Boca de hombre situada en la carcasa cilíndrica, para las tareas de inspección y mantenimiento. Estará constituida por una puerta autoclave ovalada de dimensión 410x510 mm, con espesor de pared de 10 mm. La puerta estará fabricada en acero inoxidable AISI 316L, con acabado *Pulido* según DIN 1.4404, y la junta será de EPDM. El centro geométrico de la puerta se ubicará a 1050 mm del fondo del depósito (ver Plano N°8). La puerta podrá ser marca *BOYER tipo P11-410-510* o similar.
- Dos conducciones de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno.
- Dos conducciones de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno.

- ❖ Pruebas y análisis que debe superar el mezclador 1.

Será de aplicación todo lo dicho en el aparato "*Pruebas y análisis que debe superar el depósito de almacenamiento de vino*", y sin perjuicio de lo anterior, se cumplirá con todo lo expuesto en el código ASME VIII, Div. 1 y en el Reglamento de Aparatos a Presión y las Instrucciones Técnicas Complementarias de aplicación en cada caso.

2.9. Depósito de almacenamiento de vinagre balsámico

Este depósito debe estar construido íntegramente en acero inoxidable AISI 316L, incluidas las 4 patas de soporte y todos los accesorios soldados, embridados o empotrados.

La descripción del equipo se puede ver en el capítulo 6, apartado 12 de la memoria descriptiva de este proyecto.

Las patas de apoyo estarán constituidas por cuatro perfiles angulares de 100x100x14 mm, igualmente espaciadas sobre el perímetro del recipiente. Estos perfiles irán soldados a placas cuadrangulares de 200x10 mm, fijándose al suelo el conjunto mediante pernos de anclaje de 27 mm de diámetro. Los taladros, de 33 mm de diámetro, se situarán a 65 mm del borde de la placa.

La longitud de la soldadura entre las patas y el depósito de almacenamiento de vinagre balsámico, por encima de la línea de tangencia será de 150 mm, realizando una muesca en los angulares para salvar la línea de soldadura del depósito.

- ❖ Accesorios del depósito de almacenamiento de vinagre balsámico
 - Tubo indicador de nivel. Un tubo de PVC transparente graduado, gracias al cual se podrá conocer el nivel aproximado del equipo a cada momento.

- Grifo de nivel inferior en acero inoxidable AISI 316 que estará equipado con un toma-muestras, de 8 mm de diámetro.
- Boca de hombre situada en la carcasa cilíndrica, para las tareas de inspección y mantenimiento. Estará constituida por una puerta autoclave ovalada de dimensión 410×510 mm, con espesor de pared de 10 mm. La puerta estará fabricada en acero inoxidable AISI 316L, con acabado *Pulido* según DIN 1.4404, y la junta será de EPDM. El centro geométrico de la puerta se ubicará a 1876 mm del fondo del depósito (ver Plano N°9). La puerta podrá ser marca *BOYER tipo P11-410-510* o similar.
- Conducción de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno.
- Conducción de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno.

- ❖ Pruebas y análisis que debe superar el depósito de almacenamiento de vinagre balsámico.

Será de aplicación todo lo dicho en el aparato "*Pruebas y análisis que debe superar el depósito de almacenamiento de vino*", y sin perjuicio de lo anterior, se cumplirá con todo lo expuesto en el código ASME VIII, Div. 1 y en el Reglamento de Aparatos a Presión y las Instrucciones Técnicas Complementarias de aplicación en cada caso.

2.10. Mezclador 2

Este depósito debe estar construido íntegramente en acero inoxidable AISI 316L, incluidas las 4 patas de soporte y todos los accesorios soldados, embridados o empotrados.

La descripción del equipo se puede ver en el capítulo 6, apartado 13, de la memoria descriptiva de este proyecto.

Las patas de apoyo estarán constituidas por cuatro perfiles angulares de 70x70x10 mm, igualmente espaciadas sobre el perímetro del recipiente. Estos perfiles irán soldados a placas cuadrangulares de 120x10 mm, fijándose al suelo el conjunto mediante pernos de anclaje de 20 mm de diámetro. Los taladros, de 26 mm de diámetro, se situarán a 40 mm del borde de la placa.

La longitud de la soldadura entre las patas y el mezclador 2, por encima de la línea de tangencia será de 150 mm, realizando una muesca en los angulares para salvar la línea de soldadura del mezclador.

❖ Accesorios del mezclador 2.

- Tubo indicador de nivel. Un tubo de PVC transparente graduado, gracias al cual se podrá conocer el nivel aproximado del equipo a cada momento.
- Grifo de nivel inferior en acero inoxidable AISI 316 que estará equipado con un toma-muestras, de 8 mm de diámetro.
- Dos conducciones de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno.
- Conducción de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno.

❖ Pruebas y análisis que debe superar el mezclador 2.

Será de aplicación todo lo dicho en el aparato "*Pruebas y análisis que debe superar el depósito de almacenamiento de vino*", y sin perjuicio de lo anterior, se cumplirá con todo lo expuesto en el código ASME VIII, Div. 1 y en el Reglamento de Aparatos a Presión y las Instrucciones Técnicas Complementarias de aplicación en cada caso.

2.11. Depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico

Este depósito debe estar construido íntegramente en acero inoxidable AISI 316L, incluidas las 4 patas de soporte y todos los accesorios soldados, embridados o empotrados.

La descripción del equipo se puede ver en el capítulo 6, apartado 14, de la memoria descriptiva de este proyecto.

Las patas de apoyo estarán constituidas por cuatro perfiles angulares de 100x100x10 mm, igualmente espaciadas sobre el perímetro del recipiente. Estos perfiles irán soldados a placas cuadrangulares de 200x10 mm, fijándose al suelo el conjunto mediante pernos de anclaje de 27 mm de diámetro. Los taladros, de 33 mm de diámetro, se situarán a 65 mm del borde de la placa.

La longitud de la soldadura entre las patas y el depósito de crema de vinagre balsámico, por encima de la línea de tangencia será de 150 mm, realizando una muesca en los angulares para salvar la línea de soldadura del depósito.

- ❖ Accesorios del depósito de crema de vinagre balsámico
 - Tubo indicador de nivel. Un tubo de PVC transparente graduado, gracias al cual se podrá conocer el nivel aproximado del equipo a cada momento.
 - Grifo de nivel inferior en acero inoxidable AISI 316 que estará equipado con un toma-muestras, de 8 mm de diámetro.
 - Boca de hombre situada en la carcasa cilíndrica, para las tareas de inspección y mantenimiento. Estará constituida por una puerta autoclave ovalada de dimensión 410x510 mm, con espesor de pared de 10 mm. La puerta estará fabricada en acero inoxidable AISI 316L, con acabado *Pulido* según DIN 1.4404, y la junta será de EPDM. El centro geométrico de la puerta se ubicará a 1655,5 mm del fondo del depósito (ver Plano N°11). La puerta podrá ser marca *BOYER tipo P11-410-510* o similar.

- Conducción de alimentación del tanque, de 8 mm de diámetro interno.
- Conducción de descarga del tanque, de 8 mm de diámetro interno.

- ❖ Pruebas y análisis que debe superar el depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico.

Será de aplicación todo lo dicho en el aparato "*Pruebas y análisis que debe superar el depósito de almacenamiento de vino*", y sin perjuicio de lo anterior, se cumplirá con todo lo expuesto en el código ASME VIII, Div. 1 y en el Reglamento de Aparatos a Presión y las Instrucciones Técnicas Complementarias de aplicación en cada caso.

DOCUMENTO N° 4:

PRESUPUESTO

DOCUMENTO NÚMERO 4: PRESUPUESTO

CAPÍTULO 1. DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO, FERMENTADOR, EVAPORADOR, MEZCLADORES Y EQUIPO DE FILTRACIÓN.	1
CAPÍTULO 2. SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE Y ANTIESPUMANTE	3
CAPÍTULO 3. SISTEMA DE CONTROL	4
CAPÍTULO 4. IMPULSIÓN DE FLUIDOS	5
CAPÍTULO 5. CONDUCCIONES Y ACCESORIOS	6
CAPÍTULO 6. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	7

**CAPÍTULO 1. DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO,
FERMENTADOR, EVAPORADOR, MEZCLADORES Y
EQUIPO DE FILTRACIÓN**

Descripción	Precio unitario	Cantidad	Importe
Depósito de almacenamiento de vino de 1250 litros de acero inoxidable AISI 304L.	901,7	1	901,7
Fermentador de 1250 litros de acero inoxidable AISI 316L, incluyendo serpentín interno, bridas y tapa superior.	2.464,8	1	2.464,8
Sistema de microfiltración tangencial.	1.500	1	1.500
Depósito de almacenamiento de mosto de 3250 litros de acero inoxidable AISI 316L.	2.908	1	2.908
Evaporador.	2.000	1	2.000
Depósito de almacenamiento de mosto concentrado de 2000 litros de acero inoxidable AISI 316L.	2.631	1	2.631
Mezclador de 2120 litros de acero inoxidable AISI 316L incluyendo el agitador.	2.657,6	1	2.657,6
Depósito de almacenamiento de vinagre balsámico de 10000 litros de acero inoxidable AISI 316L.	4.403,8	1	4.403,8
Mezclador de 640 litros de acero inoxidable AISI 316L, incluyendo el agitador.	2.329,6	1	2.329,6
Depósito de almacenamiento de crema de vinagre balsámico de	3.295,8	1	3295,8

DISEÑO DE UNA LINEA DE PRODUCCIÓN DE VINAGRES BALSÁMICOS
DE PEDRO XIMÉNEZ Y DERIVADOS

Jenifer Tirve Valencia

5000 litros de acero inoxidable AISI 316L.			
SUBTOTAL			25.092,3

CAPÍTULO 2. SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE Y ANTIESPUMANTE.

Descripción	Precio unitario (€)	Cantidad	Importe (€)
Soplante para el suministro de aire	700	1	700
Antiespumante tipo Frings tipo 150, capaz de retirar 25 m ³ /h de espuma.	1.700	1	1.700
SUBTOTAL			2.400

CAPÍTULO 3. SISTEMA DE CONTROL

Descripción	Precio unitario (€)	Cantidad	Importe (€)
TEMPERATURA			
Termoresistencia Pt100 para el control de la temperatura en el fermentador.	100	1	100
Controlador	163	1	163
Electroválvula de acero inoxidable de 2 vías de 5/16" de diámetro nominal	350	2	700
NIVEL FERMENTADOR			
Sensor	230	2	460
Controlador	240	1	240
Electroválvula de acero inoxidable de 2 vías de 5/16" de diámetro nominal	350	2	700
NIVEL MEZCLADOR 1			
Sensor	230	1	230
Controlador	240	1	240
Electroválvula de acero inoxidable de 2 vías de 5/16" de diámetro nominal	350	2	700
SUBTOTAL			3.533

CAPÍTULO 4. IMPULSIÓN DE FLUIDOS

Descripción	Precio unitario (€)	Unidades	Importe (€)
Bomba peristáltica para la impulsión de vino, vinagre, vinagre balsámico y crema de vinagre balsámico.	700	10	7.000
SUBTOTAL			7.000

CAPÍTULO 5. CONDUCCIONES Y ACCESORIOS

Descripción	Precio unitario (€)	Unidades	Importe (€)
Tubo de norpreno de ... diámetro nominal (8 mm)	223 €/53m	1	223
Tubo de silicona de 1/4" diámetro nominal (31,8 mm)	111,6 €/4m	1	111,6
Codo estandar de 90° de diámetro nominal 5/16" en PVC con extremos roscados.	12	38	456
Válvula de corte de 2 vías tipo bola de 5/16" de diámetro nominal de acero inoxidable.	150	10	1.150
SUBTOTAL			1.940,6

CAPÍTULO 6. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

Descripción	Importe
Depósitos de almacenamiento, fermentador, evaporador, mezcladores y equipo de filtración.	25.092,3€
Sistema de aireación y aporte de oxígeno.	2.400€
Sistema de control.	3.533€
Impulsión de fluidos	7.000€
Conducciones y accesorios.	1.940,6€
COSTE TOTAL	39.965,9€
I.V.A. (21%)	8.392,8€
MEDIOS AUXILIARES (2%)	799,32€
COSTES INDIRECTOS (5,5%)	2.198,12€
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL	51.356,2€
BENEFICIO INDUSTRIAL (15%)	7.703,43€
PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN	59.059,6€

El presupuesto total de ejecución del proyecto 'Diseño de una línea de producción de vinagres balsámicos de Pedro Ximénez y derivados' asciende a:

'Cincuenta y nueve mil cincuenta y nueve euros con sesenta céntimos'

Puerto Real, 06 de marzo 2015

Fdo. Jenifer Tirve Valencia

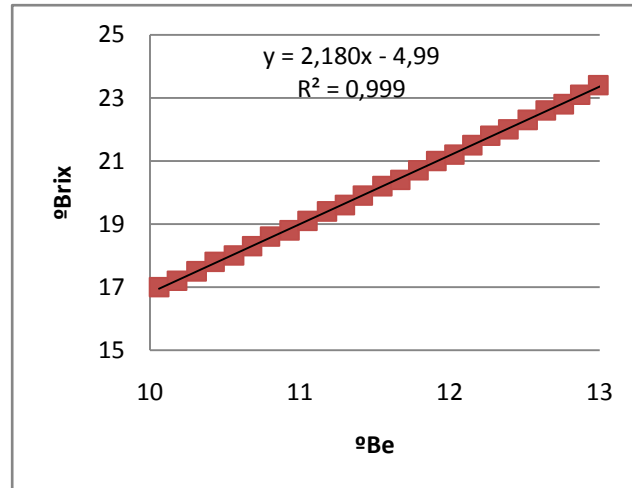
DOCUMENTO N° 5:

ANEXOS

Anexo I. Conversión de °Be a °Brix

En la siguiente tabla se recoge la conversión entre grados Baume y grados. Dicha conversión se representa en la siguiente gráfica:

°Baume	°Brix
10,06	17
10,18	17,2
10,31	17,5
10,43	17,8
10,56	18
10,68	18,3
10,8	18,6
10,93	18,8
11,05	19,1
11,18	19,4
11,3	19,6
11,42	19,9
11,55	20,2
11,67	20,4
11,79	20,7
11,91	21
12,03	21,2
12,15	21,5
12,27	21,8
12,39	22
12,52	22,3
12,64	22,6
12,76	22,8
12,87	23,1
12,99	23,4
13,11	23,6



Gráfica I. Relación entre °Bé y °Brix

Siguiendo esta relación se obtiene los siguientes valores de °Brix para las corrientes del presente proyecto.

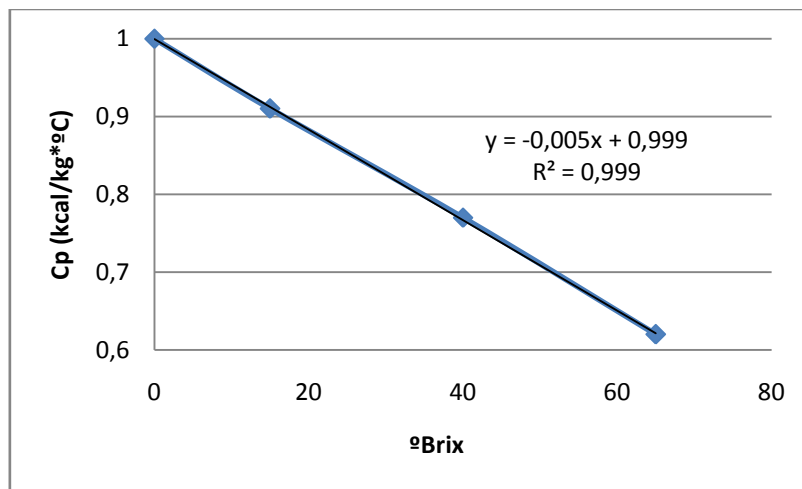
Corriente	Grados Baume	Grados Brix
F	14	25,53
L ₂	18,5	35,45
L ₁	28	56,05

Anexo II. Obtención de los calores específicos

En la siguiente tabla se recoge los valores de los calores específicos para diferentes grados Brix.

°brix	Cp
0	1
15	0,91
40	0,77
65	0,62

Esta relación queda representada en la siguiente gráfica



Gráfica II. Relación entre °Brix y Cp.

Siguiendo esta relación, se obtienen los siguientes valores de calores específicos para las corrientes del presente proyecto.

Corriente	°Brix	C _p (Kcal/kg*°C)	C _p (kJ/kg*°C)
F	25,53	0,87	3,64
L ₁	56,05	0,72	3,02
L ₂	35,45	0,82	3,43



Bomba peristáltica “Percom N-M”

CONTROL ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD Y LECTURA DIGITAL.

CON CABEZAL MULTIADAPTADOR PARA TUBO DE 4 A 12 mm Ø (ext.). ESPESOR DE PARED MÁXIMO: 1,6 mm.

CAUDAL REGULABLE DESDE 1080 HASTA 73800 ml/h.

CARACTERÍSTICAS

Modelo de sobremesa de reducidas dimensiones.

Silenciosa y carente de vibraciones.

Velocidad seleccionable entre 20 y 200 r.p.m.

PANEL DE MANDOS

Pulsador de marcha-paro.

Display indicador de la velocidad.

Pulsador de aumento de la velocidad.

Pulsador de disminución de la velocidad.

PARTE POSTERIOR

Conexión para mando a distancia por pedal marcha-paro, que se suministra como accesorio.

MODELO

Código	Alto / Ancho / Fondo (exterior) cm	Caudal en H ₂ O ml/hora	Consumo W	Peso Kg
3001300	16 12 18	1080 hasta 73800	12	2,6

Gráfico de caudal/r.p.m. según el Ø int. del tubo.

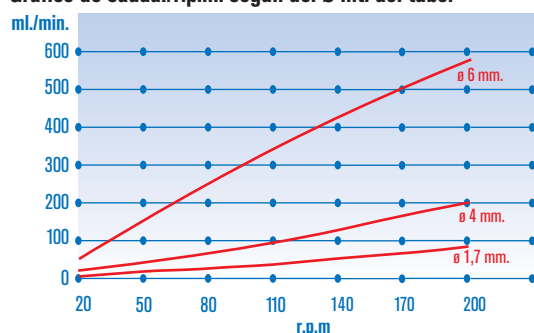


Gráfico elaborado con el fluido: Agua destilada. Estas características varían según la densidad del líquido.



Bomba peristáltica dosificadora “Peristaltic PR-2003”

CONTROL ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD Y LECTURA DIGITAL.

CON CABEZAL MULTIADAPTADOR PARA TUBO DE 4 A 12 mm Ø (ext.). ESPESOR DE PARED MÁXIMO: 1,6 mm.

DOSIFICACIÓN PROGRAMABLE DESDE 10 ml HASTA 10 LITROS.

CAUDAL MÁXIMO 1500 ml/minuto.

CARACTERÍSTICAS

Modelo de sobremesa de reducidas dimensiones.

Silenciosa y carente de vibraciones.

Pinza de sujeción del tubo de dosificación.

Boquilla de vidrio “PECIPUMP” para una precisa dosificación.

Dosis: La bomba dosifica un volumen varias veces con un período de tiempo.

Flujo: La bomba dosifica un caudal durante un cierto tiempo o continuamente.

PARTE POSTERIOR

Interruptor de puesta en marcha.

Conexión para mando a distancia por pedal marcha-paro que se suministra como accesorio.

MODELO

Código	Alto / Ancho / Fondo (exterior) cm	Caudal en H ₂ O ml/hora	Consumo W	Peso Kg
4129050	25 19 23	90.000	65	4

Gráfico de caudal/r.p.m. según el Ø int. del tubo.

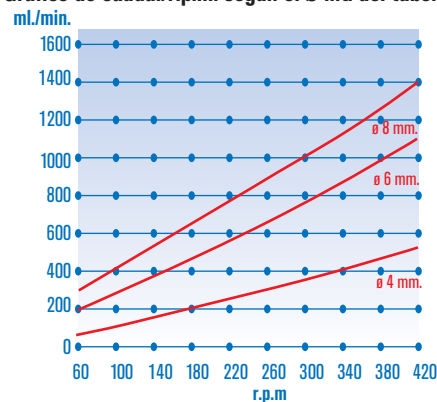


Gráfico elaborado con el fluido: Agua destilada. Estas características varían según la densidad del líquido.



Ø interior mm	Dosificación (ml/minuto)	
	60 r.p.m.	420 r.p.m.
4	80	480
6	140	1100
8	180	1400

PANEL DE MANDOS

Teclado numérico para facilitar la entrada de datos.

Display LCD de 16x2 caracteres.

Memoria de calibración.

Cambio de sentido directo desde el panel de mandos.

Indicación de sentido de giro.

Conexión para pedal de marcha-paro.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Velocidad (r.p.m.):60 - 400

Resolución (ml):1 ó 0,1

Rango dosificación (ml):10 - 9999

Rango de caudalVer tabla

Nº de programas:99

Nº de dosis repetidas:9999

Intervalo de repetición:1 - 9

Máxima pared tubo recomendable (mm):1,6

Máximo diámetro exterior de tubo (mm):12

Nota: La precisión depende de Ø del tubo y de la velocidad.

ACCESORIOS PARA BOMBAS PERISTÁLTICAS “PERCOM N-M” Y “PR-2003”

Tubos de silicona estándar. (Ver pág. 56).

Pedal de control a distancia Marcha-Paro. Código **1001044**



West 6100+, 8100+ & 4100+ Temperature & Process Controllers



Jumperless Configuration
Auto Detected Hardware
Process & Loop Alarms
Modbus & ASCII Comms
Auto or Manual Tuning
Heat/Cool Operation
Ramping Setpoint
Remote/Dual Setpoint Options
Available in 1/16, 1/8 & 1/4 DIN Formats



With their improved interface, technical functionality and field flexibility, the West 6100+, 8100+ and 4100+ give you the best in comprehensive control for most temperature and process control loops.

Specification

Features

Control Types	Full PID with Pre-tune, Self-tune, manual tuning, or On-Off control. Heat only or heat & cool
Auto/Manual	Selectable from front panel or via digital input, with bumpless transfer
Output Configuration	Up to 3 possible, for control, alarm, 24VDC transmitter power supply or retransmit of process value or setpoint
Alarm 1 & 2 Types	Process high, process low, SP deviation, band, logical OR / AND. Also 1 loop alarm for process control security. Process alarms have adjustable hysteresis.
Human Interface	4 button operation, dual 4 digit 10mm & 8mm high (6100+, 8100+) and 13mm & 10mm high (4100+) LED displays, optional choice of colours (Red/Red, Red/Green, Green/Red or Green/Green), plus 5 LED indicators
PC Configuration	Off-line configuration from PC serial port to dedicated config socket (comms option not required). Configuration Software for Windows 98 or higher. West Part Number: PS1-CON

Input

Thermocouple	J, K, C, R, S, T, B, L, N & PtRh20%vsPtRh40%.
RTD	3 Wire PT100, 50Ω per lead maximum (balanced)
DC Linear	0 to 20mA, 4 to 20mA, 0 to 50mV, 10 to 50mV, 0 to 5V, 1 to 5V, 0 to 10V, 2 to 10V. Scaleable -1999 to 9999, with adjustable decimal point
Impedance	>10MΩ for Thermocouple and mV ranges, 47KΩ for V ranges and 5Ω for mA ranges
Accuracy	±0.1% of input range ±1 LSD (T/C CJC better than 1°C)
Sampling	4 per second, 14 bit resolution approximately
Sensor Break Detection	<2 seconds (except zero based DC ranges), control O/P's turn off, high alarms activate for T/C and mV ranges, low alarms activate for RTD, mA or V ranges

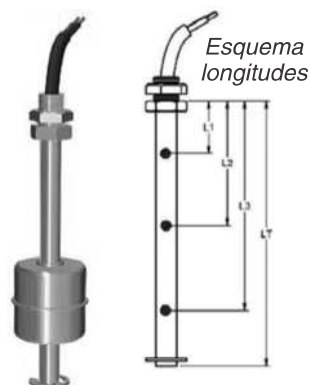
Outputs & Operations

Control & Alarm Relays	Contacts SPDT 2 Amp resistive at 240V AC, >500,000 operations
Control SSR Driver Outputs	Drive capability >10V DC in 500 minimum
Triac Outputs	0.01 to 1 Amp AC, 20 to 280Vrms, 47 to 63Hz
DC Linear Outputs	0 to 20mA, 4 to 20mA into 500Ω max, 0 to 10V, 2 to 10V, 0 to 5V into 500Ω min. Control outputs have 2% over/under drive applied. Accuracy ±0.25% at 250Ω (degrades linearly to 0.5% for increasing burden to specified limits)
Transmitter Power Supply	Output 24VDC (nominal) into 910Ω minimum to power external devices
Communications	2 Wire RS485, 1200 to 19200 Baud, Modbus and ASCII protocol (selectable)
Digital Input	Selects between 2 setpoints or Auto/Manual control. Volt free or TTL input
Remote Setpoint Input	0 to 20mA, 4 to 20mA, 0 to 5V, 1 to 5V, 0 to 10V or 2 to 10V. Scaleable -1999 to 9999. Local/Remote setpoint selected from front panel

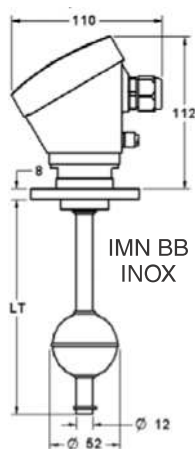


01 INTERRUPTORES MAGNÉTICOS DE NIVEL CON BOYA

• Longitud variable



IMN RPM
INOX



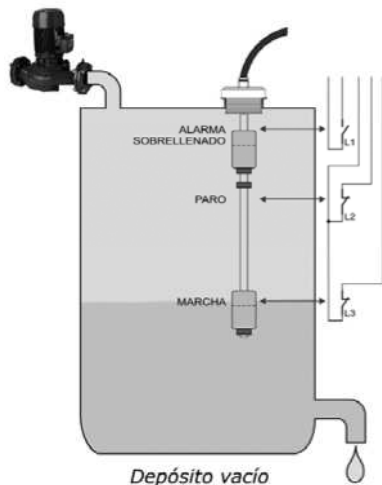
IMN BB
INOX



IMN RP
PVC



IMN BC
PVC



Depósito vacío

Código	Artículo	ØBoya mm	€
Modelos de ejecución bajo pedido Precio hasta 1 m de longitud			
CN 01 231	IMN RPM INOX 1C Rosca 1/8"	29,5	211,74
CN 01 232	IMN RPM INOX 2C Rosca 1/8"	29,5	229,54
CN 01 264	IMN RP INOX 1C Rosca 3/8"	52	229,18
CN 01 265	IMN RP INOX 2C Rosca 3/8"	52	249,74
CN 01 266	IMN RP INOX 3C Rosca 3/8"	52	302,93
CN 01 267	IMN RP INOX 4C Rosca 3/8"	52	325,22
CN 01 234	IMN BB INOX 1C (Brida PVC Ø120+caja)	52	374,26
CN 01 235	IMN BB INOX 2C (Brida PVC Ø120+caja)	52	395,98
CN 01 236	IMN BB INOX 3C (Brida PVC Ø120+caja)	52	426,47
CN 01 237	IMN BB INOX 4C (Brida PVC Ø120+caja)	52	448,79
CN 01 254	IMN BC INOX 1C (Brida inox Ø80+conector)	52	322,35
CN 01 255	IMN BC INOX 2C (Brida inox Ø80+conector)	52	344,59
IMN - PVC			
<ul style="list-style-type: none"> • Cuerpo: PVC • Boya: Polipropileno • Temperat. trabajo: -30 a +65°C Modelos de ejecución bajo pedido Precio hasta 1 m de longitud			
CN 01 241	IMN RP PVC 1C Rosca 1/8"	29,5	111,24
CN 01 242	IMN RP PVC 2C Rosca 1/8"	29,5	135,43
CN 01 243	IMN RP PVC 3C Rosca 1/8"	29,5	168,33
CN 01 261	IMN RP PVC 1C Rosca 3/8"	29,5	127,05
CN 01 262	IMN RP PVC 2C Rosca 3/8"	29,5	157,62
CN 01 263	IMN RP PVC 3C Rosca 3/8"	29,5	188,19
CN 01 244	IMN RP PVC 4C Rosca 3/8"	29,5	213,41
CN 01 245	IMN BB PVC 1C (Brida Ø120+caja)	29,5	260,95
CN 01 246	IMN BB PVC 2C (Brida Ø120+caja)	29,5	286,25
CN 01 247	IMN BB PVC 3C (Brida Ø120+caja)	29,5	319,16
CN 01 251	IMN BC PVC 1C (Brida Ø68+conector)	29,5	133,45
CN 01 252	IMN BC PVC 2C (Brida Ø68+conector)	29,5	158,25
CN 01 253	IMN BC PVC 3C (Brida Ø68+conector)	29,5	191,17
<i>Nota: Sonda mayor de 1500 mm flotador Ø38</i>			
ACCESORIOS			
CN 03 270	<ul style="list-style-type: none"> • Amplificador de contactos • Poder de ruptura: 8A (4A) • Alimentación 230 V PSMS 230		69,79
CN 03 269	<ul style="list-style-type: none"> • Relé de enclavamiento (paro-marcha) • Alimentación 230V PSPS 230		100,31
CN 03 271	Base UNDECAL para relés S3B		10,23
Nota: la norma VDE 0100/12 65.8 N determina la utilización de un relé protector para los interruptores de nivel instalados en depósitos cuyo líquido esté en contacto con personas			

Esfera Bola

0010 Válvulas DE BOLA

Latón



- Dimensiones: 1/4" a 4"
- Máxima presión de trabajo 25 bar.
- Límites de Temperatura hasta 180°.
- Construcción en latón DIN 17660.
- Extremos roscados gas hembra-hembra según ISO 228/1.
- Mando manual por palanca de acero.



Válvula DE ESFERA PASO TOTAL BRIDADA

Hierro



- Válvula de esfera paso total.
- Extremos Bridados según DIN 2501 PN-16.
- Construcción en Fundición Nodular GGG-40.
- Longitud entre caras según DIN 3202 F4/F5.
- Asientos PTFE + 15 % F.V.
- Esfera y eje Inoxidable AISI 304.
- Tórica en el eje de Vitón.
- Vástago inexpulsable.
- Montaje directo para actuadores S/ ISO 5211.
- Dispositivo de Bloqueo de Seguridad.
- Presión de trabajo máxima 16 Kg/cm².
- Temperatura de trabajo -30 °C + 180 °C.

Válvula DE ESFERA PASO TOTAL BRIDADA

Inox



- Válvula de esfera paso total, 2 piezas.
- Extremos Bridados según DIN 2501.
PN - 40 desde DN 15 hasta DN 50.
PN - 16 desde DN 65 hasta DN 200.
- Construcción en Acero Inoxidable CF8M.
- Normas de diseño DIN 3357 / ISO 5752.
- Longitud entre caras según DIN 3202 F4 / F5.
- Asientos PTFE + 15 % F.V.
- Junta cuerpo espirometálica desde DN 32.
- Tórica en el eje de Vitón.
- Vástago inexpulsable.
- Montaje actuador directo según ISO 5211 (sistema patentado).
- Sistema de bloqueo incorporado.
- Dispositivo Anti-estático.

- Ideal for Control of Slightly Aggressive Gases and Liquids
- Hot Water Valves Available
- Minimal Pressure Differential Required
- Interchangeable “Click-On” Coil
- High Flow Rate
- Compact Design


Technical Data
Function:

2-Way Normally Closed

2-Way Normally Open – Optional

Ports (NPT)	Orifice	Cv	Operating Pressure Range (PSI)
1/4"	5/16"	2.3	1.5 - 232 PSI (0.1 - 16 bar)
3/8"	3/8"	3.6	1.5 - 232 PSI (0.1 - 16 bar)
1/2"	7/16"	4.6	1.5 - 232 PSI (0.1 - 16 bar)
3/4"	3/4"	7.3	1.5 - 232 PSI (0.1 - 16 bar)
1"	1"	11.4	1.5 - 232 PSI (0.1 - 16 bar)

Temperature Rating
Ambient:

14°F to 122°F (-10°C to +50°C)

Fluid:

14°F to 194°F (-10°C to +90°C) - Buna

14°F to 230°F (-10°C to +110°C) - EPDM*, Fluorocarbon

***Pressure range (EPDM seals):**

4.5 – 232 PSI (0.3 – 16 bar)

Power Rating: 8 Watt

Voltage:

24 Volt DC, 205 Volt DC

 24/50, 110/50, 120/60, 220/60,
230/50 Volt AC

Electrical Connector:

 DIN Style Plug with Removable Cable
Plug Adapter

Body: Stainless Steel

Seal: Buna (Standard)

Other Wetted Parts: Stainless Steel, PVDF

Coil: Class F, Molded, Continuous Duty,
UL Recognized

A 8 – 8 2 7 3 – 1 1 1 1 – 0 1 – U – Voltage – Optional
VALVE SERIES
PORTS
ORIFICE
SEAL
SUFFIX

0506 = 1/4" NPT

5/16"

01 = Buna

NO = Normally Open

0707 = 3/8" NPT

3/8"

02 = Fluorocarbon

0908 = 1/2" NPT

7/16"

13 = EPDM (Hot Water)

1010 = 3/4" NPT

3/4"

1111 = 1" NPT

1"

